D. MONDESCU
FECTOI

FIZICA

MANUAL PENTRU CLASA A XI-a

EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ

Scanned with OKEN Scanner

D. MONDESCU
lector universitar

FIZICA

MANUAL PENTRU CLASA A XI-a

EDITURA DIDACTICĂ ŞI PEDAGOGICĂ
Bucureşti, 1964

Scanned with OKEN Scanner

I

MIȘCAREA OSCILATORIE

OSCILAȚII ȘI UNDE

ÎN TEHNICĂ și în natură se întîlnesc diferite feluri de mișcări, printre care și mișcarea oscilatorie.

Ca exemple de mișcări oscilatorii, în natură, se pot da, mișcarea efectuată de creanga de pe care a zburat o pasăre, mișcările arborilor în bătaia vîntului, valurile de pe suprafața apei unui lac, datorită vîntului etc. Ca exemple de mișcări oscilatorii în tehnică sînt: mișcările indicatoarelor unor aparate de măsură pînă ajung la echilibru, mișcarea balansierului sau a pendulului unui ceasornic etc.

Mișcări oscilatorii execută coardele unor instrumente muzicale, diapazonul lovit etc.

1. **Oscilația unui resort. Definiția mișcării oscilatorii.** Să considerăm unul dintre exemplele cele mai simple de mișcare oscilatorie, oscilațiile verticale ale unui sistem de două corpuri format dintr-o bilă de metal, de masă m, suspendată de un resort (fig. 1). Sistemul de corpuri — bilă + resort — constituie un pendul elastic. Dacă tragem bila în jos și-i dăm drumul, ea se va mișca în sus și-n jos, în jurul poziției de echilibru, comprimînd și întinzînd resortul. Spunem că bila și resortul *oscilează*

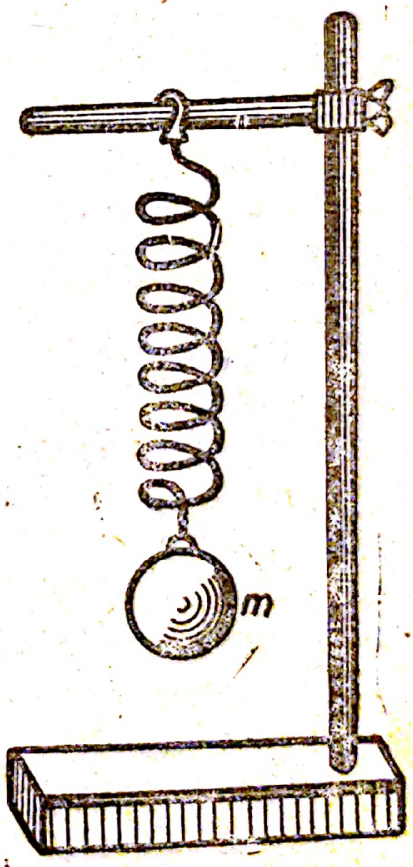


Fig. 1. Pendul elastic.

liber, iar mișcările lor se numesc *oscilații*. Cauza oscilațiilor bilei suspendată de resort se poate explica astfel: cînd bila se găsește în poziția de echilibru, energia potențială a pendulului este minimă; în oricare altă poziție decît aceea de echilibru, energia sa potențială are o valoare mai mare. Cînd deplasăm bila din poziția de echilibru, acționăm asupra resortului de care este prinsă cu o forță deformatoare F_d, a cărei valoare este proporțională cu deformarea produsă ($F_d = k \cdot y$, unde y este deformarea produsă). Conform legii a III-a a mecanicii, în resort ia naștere o forță egală și de sens contrar forței deformatoare — forța elastică ($F = -F_d$, sau $F = -k \cdot y$) — ce se opune deformării resortului. Ca urmare, cînd deplasăm bila din poziția sa de echilibru, efectuăm un lucru mecanic împotriva forței elastice; acest lucru mecanic se transformă în energie potențială de deformare elastică a resortului. Îndată ce am lăsat bila liberă, întregul sistem revine în poziția în care energia sa potențială este minimă, adică în poziția de echilibru. În timpul mișcării, energia potențială se va transforma în energie cinetică. Cînd bila trece prin poziția de echilibru, energia potențială de deformare elastică s-a transformat în energie cinetică; energia potențială este minimă, iar energia cinetică este maximă. Datorită energiei cinetice, bila trece dincolo de poziția de echilibru, iar energia cinetică începe să scadă, transformîndu-se în energie potențială. Bila se oprește pentru un moment cînd energia cinetică devine zero, prin transformarea ei în energie potențială; energia potențială va începe să scadă, bila îndreptîndu-se din nou spre poziția de echilibru ș.a.m.d.

Datorită frecărilor, o parte din energia mecanică, comunicată din exterior pendulului, se transformă în lucru mecanic cheltuit pentru învingerea frecării astfel încît, cu timpul, oscilațiile se sting. Stingerea oscilațiilor se face cu atît mai încet cu cît pierderile de energie, prin frecare, sînt mai mici. În cazul ideal (în absența frecărilor), oscilațiile pendulului ar dura un interval de timp infinit de lung, *reproducîndu-se identic după intervale egale de timp*. Astfel de oscilații se numesc *oscilații periodice*, spre deosebire de oscilațiile care se sting cu timpul și care se numesc *oscilații pseudoperiodice* sau *cvasiperiodice*.

Scanned with OKEN Scanner

Definiția mișcării oscilatorii. *Numim mișcare oscilatorie mișcarea periodică sau pseudoperiodică efectuată de un corp sau de un sistem de corpuri în jurul unei poziții de echilibru. În timpul oscilației energia sistemului suferă transformări periodice (sau pseudoperiodice) din energie potențială în energie cinetică, și invers.*

2. **Mărimi caracteristice ale mișcării oscilatorii periodice**

a) **Elongația.** Pentru orice corp care oscilează periodic *numim elongație depărtarea corpului, la un moment dat, față de poziția sa de echilibru.*

Elongația se notează cu y sau x. În figura 2, elongația $\vec{y} = \overrightarrow{OD}$. Elongația este o mărime vectorială variabilă care, în mișcarea oscilatorie periodică, ia valori egale după intervale egale de timp; este deci o mărime periodică. Ca orientare față de poziția de echilibru, elongația poate fi pozitivă sau negativă.

b) **Amplitudinea.** *Numim amplitudine depărtarea maximă a corpului oscilant de la poziția de echilibru, sau valoarea absolută maximă a elongației.* Amplitudinea se notează cu A. În cazul oscilației bilei (fig. 2) $A = y_{max} = OB = OC$.

Efectuarea unei mișcări oscilatorii în ambele sensuri, de la o extremă la alta se numește *oscilație completă (sau ciclu)*, iar efectuarea mișcării într-un singur sens, de la o extremă la alta, se numește *oscilație simplă.*

c) **Perioada de oscilație** *(T) este intervalul de timp în* care se efectuează o

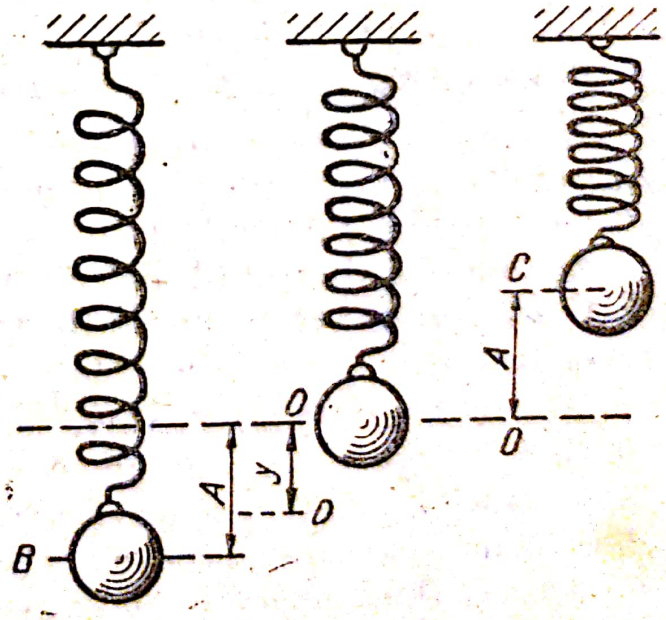


Fig. 2. Oscilația pendulului elastic.

Scanned with OKEN Scanner

oscilație completă; ea se mai numește și perioada oscilației complete și se măsoară în secunde. Dacă notăm cu t intervalul de timp în care se efectuează N oscilații complete, relația de definiție a perioadei este:

$$T = \frac{t}{N}. \qquad (1)$$

Dacă în relația (1) punem condiția $N = 1$ oscilație, rezultă că $T = t$, adică tocmai definiția dată mai sus.

În general, pentru o mărime periodică, perioada este intervalul minim de timp după care mărimea periodică ia aceleași valori, variind în același sens, iar *ciclul* îl putem defini ca totalitatea valorilor succesive pe care le ia o mărime periodică în timpul unei perioade. Pentru pendulul elastic, perioada de oscilație T este dată de relația:

$$\boxed{T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}} \qquad (2)$$

(această relație va fi dedusă la paragraful 3). În formula de mai sus, m este masa bilei, iar k reprezintă constanta de elasticitate a resortului.

d) **Frecvența.** Dacă în t secunde, corpul oscilant efectuează N oscilații complete, atunci într-o secundă va efectua $\frac{N}{t}$ oscilații. Acest raport se notează cu f sau cu litera grecească ν (niu) și reprezintă relația de definiție a frecvenței:

$$\boxed{\nu = \frac{N}{t}} \qquad (3)$$

Folosind această relație se poate da următoarea definiție:

Numim frecvența unei mișcări oscilatorii periodice o mărime ce se măsoară prin numărul de oscilații complete efectuate în unitatea de timp (o secundă).

Comparînd relația (3) cu relația (1) observăm că ν și T sînt mărimi inverse, adică între ele există următoarea relație:

$$\nu = \frac{1}{T} \qquad (4),$$

sau

$$T = \frac{1}{\nu} \qquad (4').$$

Scanned with OKEN Scanner

Ca *unitate de frecvență se ia frecvența unei mișcări oscilatorii în care se efectuează o oscilație completă în timp de o secundă.* Această unitate se numește *hertz* (Hz), nume dat în cinstea fizicianului german H. Hertz (1837—1894).

1 000 Hz = 1 k Hz (kilohertz); 1 000 000 Hz = 1 MHz (megahertz).

c) **Faza oscilației.** Pe lîngă cele patru mărimi definite mai sus — amplitudinea, elongația, perioada și frecvența — o deosebită importanță prezintă mărimea numită *faza oscilației*. În linii generale obișnuim să înțelegem prin faza oscilației o mărime ce caracterizează starea de mișcare a corpului oscilant față de o poziție arbitrară a lui, de exemplu, față de poziția de echilibru pe care o putem lua ca origine a fazei.

Pentru a înțelege mai bine această noțiune, să ne referim din nou la oscilațiile pendulului elastic (fig. 2). Observăm că, în timpul oscilației sale, masa m se află la un moment dat într-o anumită stare de mișcare față de poziția de echilibru; se apropie de ea, sau se depărtează spre una din cele două extreme. O măsură precisă a fazei o obținem dacă studiem prin analogie mișcarea oscilatorie și mișcarea circulară uniformă. În acest scop să considerăm un punct mobil M care se rotește uniform cu viteza unghiulară $\omega = \frac{2\pi}{T}$ în jurul unui punct O (fig. 3), în sensul indicat de săgeți; raza de rotație OM este egală cu amplitudinea mișcării oscilatorii A.

Să proiectăm mișcarea mobilului M pe unul din cele două diametre BB' sau AA', spre exemplu, pe diametrul vertical BB', ales ca axă de proiecție. Observăm că proiecția sa m efectuează

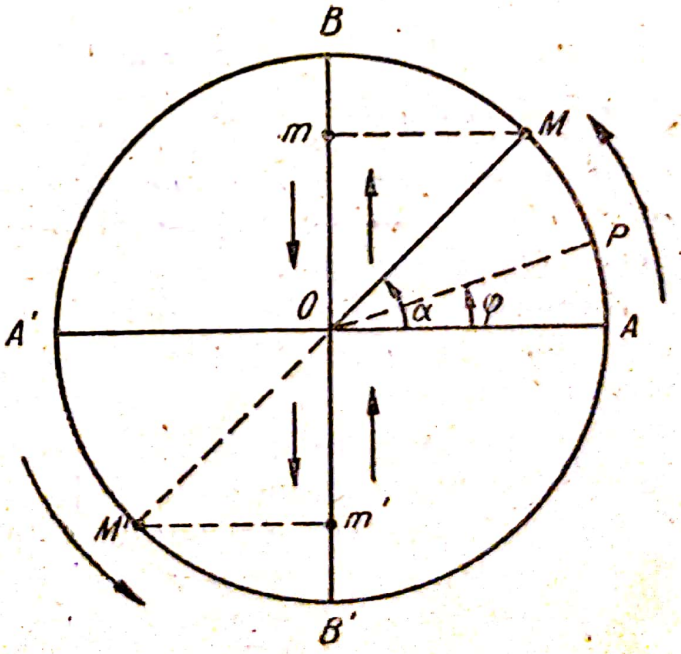


Fig. 3. Relația dintre mișcarea circulară uniformă și mișcarea oscilatorie

Scanned with OKEN Scanner

o mișcare la fel cu mișcarea pendulului elastic, în timp ce mobilul M efectuează o mișcare circulară uniformă. Cu alte cuvinte putem considera că mișcarea oscilatorie liniară a unui punct material este generată de proiecția pe o dreaptă a mișcării circulare uniforme a unui punct M. Această legătură dintre mișcarea oscilatorie și mișcarea circulară este deosebit de importantă, deoarece ne ajută să dăm o definiție precisă fazei. Punctul M se numește punct auxiliar, iar raza OM se numește rază mobilă.

Dacă la momentul inițial ($t_0 = 0$) mobilul M se află pe circumferință în punctul A, considerat ca poziție de repaus, proiecția sa m pe BB' se află în O, care corespunde poziției de echilibru a pendulului.

Deplasîndu-se din A în M, raza mobilă s-a rotit, cu viteza unghiulară ω, de un unghi $\alpha = \omega t$, iar proiecția sa pe axa BB' a ajuns în m. Continuînd să se rotească mai departe, punctul M trece succesiv prin pozițiile B, A', M', B' și ajunge în A după o rotație completă.

În acest timp, proiecția sa efectuează o oscilație completă în jurul punctului O. Fiecărei poziții pe circumferință a punctului M îi corespunde un unghi la centru format de poziția razei mobile, la un moment dat, cu poziția fixă OA.

Valoarea acestui unghi este $\alpha = \omega t$, pentru cazul cînd momentul inițial, $t = 0$, corespunde poziției A a lui M, respectiv poziția de echilibru O, a lui m. Dacă la momentul $t = 0$, M se găsește într-o altă poziție OP, care face cu OA unghiul φ (fi), atunci:

$$\alpha = \omega t + \varphi. \qquad (5)$$

Din cele de mai sus, cît și din studiul figurii (3) se constată că unghiul $\alpha = \omega t + \varphi$ caracterizează atît starea de mișcare a punctului auxiliar M față de poziția de repaus, cît și starea de mișcare a proiecției m față de O. Spunem că unghiul $\alpha = \omega t + \varphi$ reprezintă *faza mișcării oscilatorii*, sau *unghiul de fază*. Unghiul constant φ se numește faza la momentul inițial, sau faza inițială; valoarea lui depinde de momentul ales ca origine a timpului. Dacă se ia ca moment inițial momentul cînd corpul oscilant se găsește în poziția de echilibru, $\varphi = 0$. Mărimea ω care pentru mișcarea circulară uniformă reprezintă viteza unghiulară, pentru mișcarea oscilatorie reprezintă

Scanned with OKEN Scanner

pulsația. Din formula $\omega = \frac{2\pi}{T}$ rezultă că *pulsația mișcării oscilatorii este numeric egală cu numărul de perioade în 2π unități de timp*. În afara fazei se utilizează de multe ori în studiul mișcării oscilatorii și mărimea numită *diferență de fază*, sau *defazaj*, pentru a scoate în evidență cu cît o mișcare este înaintea alteia. Spre exemplu, în cazul a două mișcări oscilatorii de aceeași pulsație care diferă prin fazele inițiale $\varphi_1 \neq \varphi_2$, diferența de fază va fi:

$$(\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2) = \varphi_1 - \varphi_2. \qquad (6)$$

Dacă $\varphi_1 - \varphi_2 > 0$, prima mișcare este în avans de fază față de a doua; dacă $\varphi_1 - \varphi_2 < 0$, prima mișcare este în întîrziere de fază față de a doua; dacă $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$, cele două mișcări sînt în fază (concordanță de fază), iar dacă $\varphi_1 - \varphi_2 = \pi$ rad, cele două mișcări sînt în opoziție de fază.

3. **Mișcarea oscilatorie armonică.** Să facem apel din nou la relația dintre mișcarea circulară uniformă și mișcarea oscilatorie periodică. Fie $OM = A$ raza mobilă a punctului auxiliar M, v_t — viteza liniară tangentă la traiectorie, ω — viteza unghiulară și a_c — accelerația centripetă a punctului M (fig. 4). Presupunem că mobilul M la momentul inițial ($t_0 = 0$) trece prin punctul A, originea arcelor (deci $\varphi = 0$) și se rotește în sensul arătat de săgeți. Dacă el parcurge circumferința în timpul T, atunci în timpul t parcurge arcul de cerc AM, corespunzător unghiului la centru $\alpha = \omega t$, măturat de raza mobilă A.

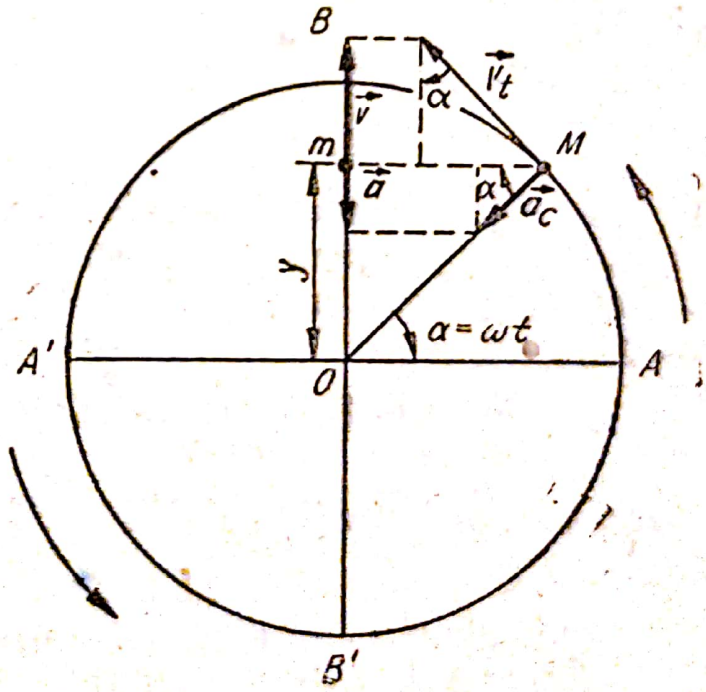


Fig. 4. Stabilirea ecuațiilor mișcării oscilatorii armonice.

Urmărind proiecția m a acestui punct pe diametrul vertical BB', observăm că ea execută o mișcare oscilatorie a cărei amplitudine $OB = OM = A$ și a cărei elongație, la un moment oarecare t, este $y = Om$, pe care o putem calcula din triunghiul dreptunghic OmM:

$$\boxed{y = A \sin \omega t} \qquad (7)$$

Această expresie ne spune că elongația este funcție sinusoidală de timp și totodată permite să calculăm elongația punctului m față de poziția de repaus; ea poartă numele de *ecuația elongației*. Pentru a stabili ecuațiile vitezei și accelerației mișcării oscilatorii se va proiecta vectorul viteză liniară și accelerația centripetă a punctului M pe diametrul vertical. Ca sens pozitiv se consideră, sensul lui OB (v. fig. 4). Din figură se observă că: $v = v_t \cos \alpha$ sau $v = v_t \cos \omega t$ și $a = -a_c \sin \omega t$, unde v este viteza mișcării oscilatorii, iar a este accelerația mișcării oscilatorii, îndreptată în sens negativ. De la studiul mișcării circulare uniforme ne reamintim că: $v_t = \omega r$ și $a_c = \omega^2 r$; în cazul de față $v_t = \omega A$ și $a_c = \omega^2 A$. Înlocuind aceste valori în relațiile de mai sus, obținem:

$$\boxed{v = \omega A \cdot \cos \omega t} \qquad (8)$$

și

$$\boxed{a = -\omega^2 A \cdot \sin \omega t} \qquad (9)$$

Relația (8) reprezintă *ecuația vitezei* mișcării oscilatorii, iar relația (9) reprezintă *ecuația accelerației* mișcării oscilatorii. Și aceste mărimi sînt tot funcții sinusoidale de timp:

$$v = \omega A \cdot \cos \omega t = \omega A \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Comparînd relația (9) cu relația (7) observăm că se poate scrie:

$$\boxed{a = -\omega^2 y} \qquad (10)$$

Scanned with OKEN Scanner

Această relație ne arată că: *accelerația este direct proporțională cu elongația și de semn contrar cu ea.* De altfel ne putem da seama de aceasta și experimental, urmărind oscilațiile pendulului elastic. Observăm că pe măsură ce elongația crește în valoare absolută, bila *m* îndreptîndu-se spre una din extremități, accelerația imprimată de forța elastică crește în valoare absolută, dar este de semn contrar elongației. Acest fapt se constată prin scăderea vitezei pendulului pe măsură ce bila *m* se apropie de una din extremități (viteza este în acest caz de același sens cu elongația și de sens contrar cu accelerația). Cînd bila *m* a ajuns la depărtarea maximă de la poziția de echilibru, viteza se anulează, apoi începe să crească în sens contrar pe măsură ce pendulul se apropie de poziția de echilibru. În acest caz, accelerația scade în valoare absolută, dar viteza crește fiind de sens contrar elongației, adică de același sens cu accelerația.

D e f i n i ț i e: *Mișcarea oscilatorie în care accelerația este direct proporțională cu elongația și de semn contrar ei se numește mișcare oscilatorie armonică, sau oscilație armonică.*

Mișcarea oscilatorie armonică este cel mai simplu tip de mișcare oscilatorie. O astfel de mișcare efectuează pendulul elastic cînd amplitudinea sa este mică (în acest caz, pendulului elastic i se spune și oscilator armonic). În cazul amplitudinilor mari, această proporționalitate nu mai este respectată, iar oscilația este *nearmonică*. Dacă reprezentăm grafic o oscilație armonică luînd pe axa absciselor intervalele de timp, iar pe axa ordonatelor valorile corespunzătoare elongației la momentele respective, curba reprezentativă va fi o sinusoidă (fig. 5). Din figura 5 se vede că sinusoida este reprezentarea grafică a elongației în funcție de timp. Segmentul *Om'* reprezintă elongația maximă sau amplitudinea *(A)*. Deoarece graficul unei oscilații armonice este o sinusoidă, aceste oscilații se numesc și *oscilații sinusoidale.*

Graficele oscilațiilor nearmonice nu sînt sinusoide. Oscilațiile sinusoidale și nesinusoidale se întîlnesc în cele mai diferite fenomene fizice. Folosind relațiile (8) și (9), putem reprezenta graficul vitezei și accelerației mișcării

Scanned with OKEN Scanner

oscilatorii procedînd ca mai sus. În cazul general, cînd faza inițială $\varphi \neq 0$, ecuațiile (7), (8) și (9) capătă forma următoare:

$$y = A \sin (\omega t + \varphi) \qquad (7')$$

$$v = \omega A \cos (\omega t + \varphi) \qquad (8')$$

$$a = -\omega^2 A \sin (\omega t + \varphi). \qquad (9')$$

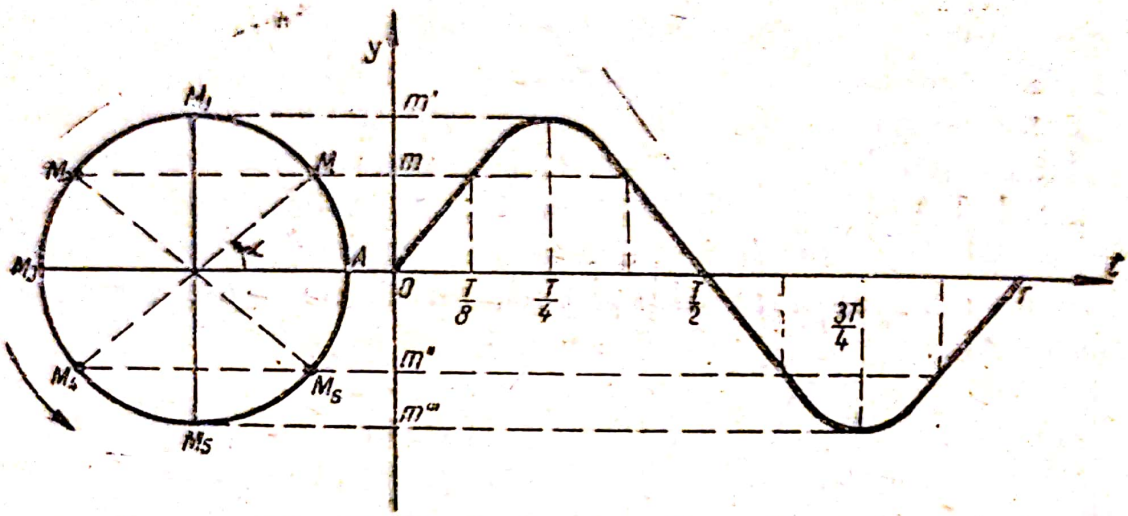


Fig. 5. Graficul mișcării oscilatorii armonice.

Relația (10) rămîne neschimbată.

Cunoașterea ecuațiilor de mai sus este de mare importanță în studiul mișcării oscilatorii armonice. De exemplu, putem stabili formula perioadei pendulului elastic.

Din ecuația accelerației în mișcarea oscilatorie armonică $a = -\omega^2 y$; expresia forței elastice este $F = -ky$. Înlocuind în expresia lui F valoarea lui y, obținem:

$$F = k \frac{a}{\omega^2}.$$

Conform legii a II-a a mecanicii, forța $F = ma$.
Comparînd cele două expresii ale forței elastice, rezultă:

$$\frac{k}{\omega^2} = m, \text{ adică: } \omega^2 = \frac{k}{m} \text{ sau } \frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{k}{m}, \text{ adică:}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Scanned with OKEN Scanner

4. **Oscilații amortizate.** Dacă lăsăm pendulul să oscileze liber, oscilațiile sale nu durează la infinit. Datorită frecării, amplitudinea oscilațiilor începe să scadă și după cîtva timp oscilațiile încetează. Astfel de oscilații, a căror amplitudine scade cu timpul, se numesc *oscilații amortizate*. În figura 6 sînt reprezentate graficele a două oscilații amortizate. Spre deosebire de aceste oscilații, oscilațiile a căror amplitudine rămîne constantă se numesc *oscilații*

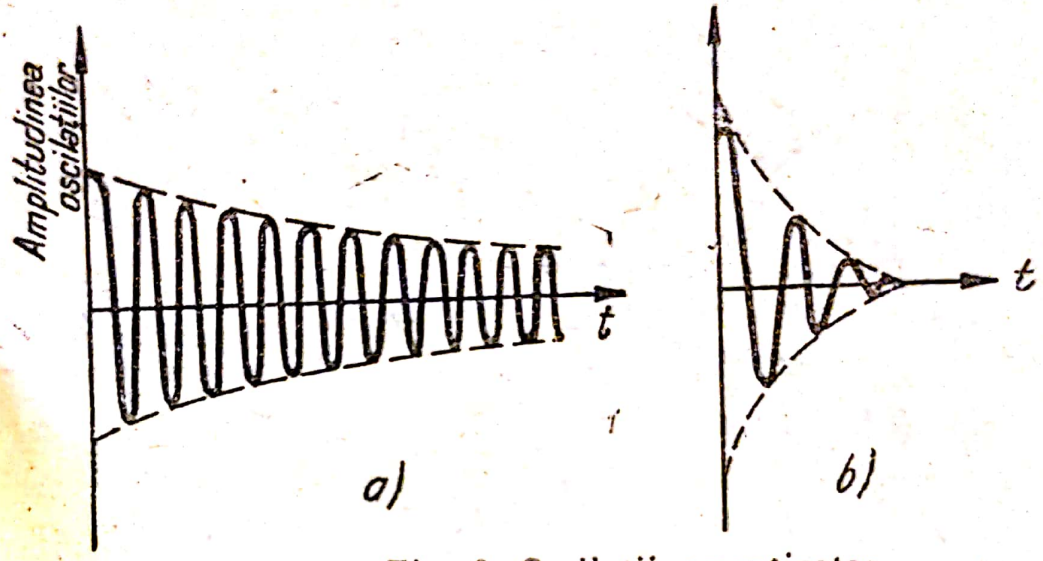


Fig. 6. Oscilații amortizate:
a — amortizarea este mică; *b* — amortizarea este mare.

neamortizate. Întrucît la aceste oscilații mișcarea se repetă întocmai la intervale egale de timp, ele reprezintă *fenomene periodice*.

Comparativ cu oscilațiile neamortizate, oscilațiile amortizate nu sînt periodice; totuși, pentru studiul lor se utilezează aceleași noțiuni fundamentale introduse pentru oscilațiile periodice, deoarece au multe caracteristici comune, îndeosebi cînd amortizarea este mică (oscilații pseudoperiodice).

Dacă amortizarea este mare, din cauza frecării, corpul care oscilează revine foarte repede în poziția de repaus (vezi fig. 6). Cu cît frecarea este mai mare, cu atît oscilațiile se amortizează mai repede. Amortizarea oscilațiilor are numeroase aplicații în tehnică. De exemplu la aparatele de măsură pentru curentul electric, acul indicator trebuie să ajungă cît mai repede la echilibru spre a se putea citi precis deviația. În acest scop se folosește un sistem de

Scanned with OKEN Scanner

amortizare a oscilațiilor (fig. 7). În lipsa amortizorului acul indicator va oscila mai mult timp în jurul poziției de echilibru și determinările ar fi cu erori mari.

5. **Pendulul matematic.** Un alt exemplu de mișcare oscilatorie armonică îl constituie mișcarea pendulului gravitațional. Cel mai simplu pendul de acest fel este alcătuit dintr-o sferă metalică, sau alt material, suspendată de un fir avînd un capăt prins de un suport (fig. 8). Așa cum pentru studiul mișcărilor simple se folosește noțiunea de *punct material* și în cazul de față, pentru studiul mișcărilor pendulului se folosește *pendulul matematic*.

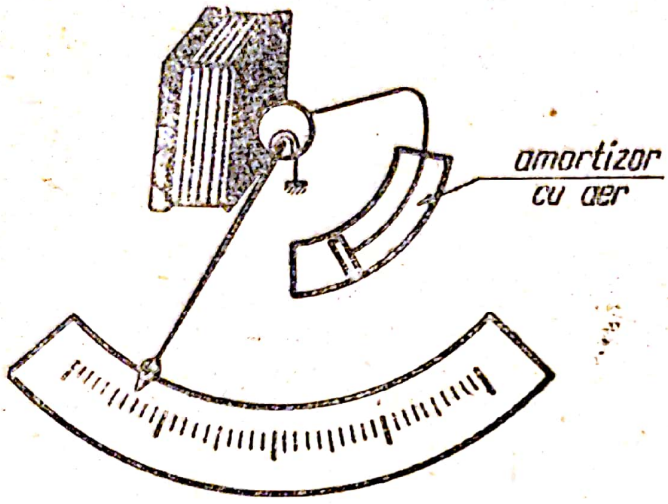


Fig. 7. Dispozitiv de măsurat cu amortizare.

Numim pendul matematic un punct material suspendat de un fir inextensibil și fără greutate.

În realitate nu putem găsi un astfel de pendul, totuși putem construi destul de bine un pendul cît mai apropiat de pendulul matematic, numit pendul simplu.

Pentru aceasta este deajuns să luăm o sferă metalică de diametru mic și cu densitatea cît mai mare, astfel ca greutatea firului să fie neglijabilă față de gre-

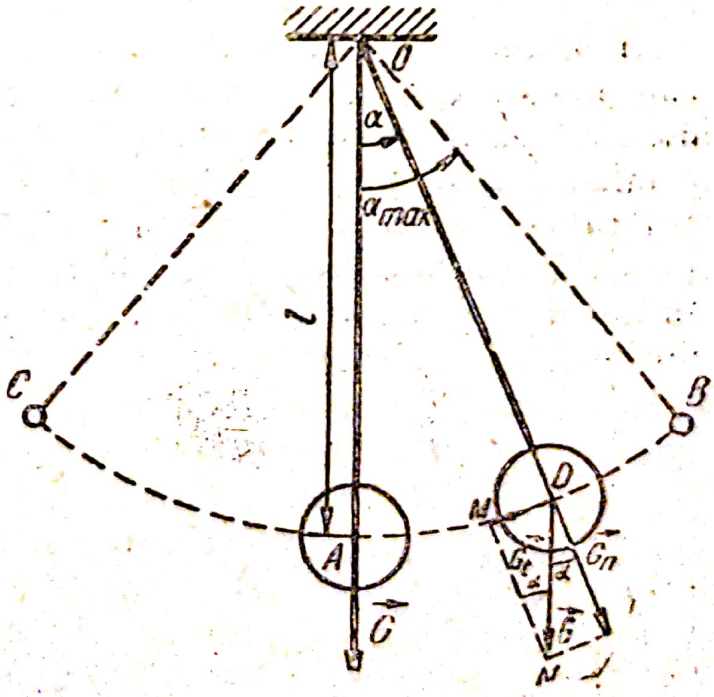


Fig. 8. Oscilația pendulului gravitațional.

utatea bilei, iar firul de care suspendăm sfera să fie suficient de rezistent, lung și subțire, astfel ca diametrul sferei să fie neglijabil față de lungimea firului. Cînd pendulul este în repaus, el ocupă poziția de echilibru A, în care energia sa potențială este minimă. În acest caz, forța gravitațională G aplicată sferei pendulului, în centrul de greutate, este echilibrată de rezistența firului. Deplasînd pendulul în poziția B, de un unghi α_{max} și lăsîndu-l liber, el începe să oscileze în jurul poziției de echilibru. În poziția B, precum și în oricare altă poziție D diferită de poziția A, reacțiunea firului echilibrează numai componenta $\vec{G}_n$, în direcția firului, a forței $\vec{G}$. Componenta $\vec{G}_t$, tangentă la traiectorie, orientată către poziția de echilibru, rămîne neechilibrată. Valoarea componentei $\vec{G}_t$ o deducem din triunghiul DMN (v. fig. 8), aplicînd relația:

$$G_t = G \cdot \sin \alpha.$$

Această componentă, proporțională cu $\sin \alpha$, reprezintă forța activă sub acțiunea căreia are loc mișcarea oscilatorie a pendulului. Ținînd seama că $G = m \cdot g$, putem scrie relația de mai sus și sub forma:

$$G_t = m \cdot g \sin \alpha.$$

Din legea a doua a mecanicii știm că intensitatea forței care acționează asupra unui corp se exprimă prin produsul dintre masa corpului și accelerația imprimată. Deci, produsul $g \sin \alpha$ reprezintă accelerația imprimată masei pendulului de către componenta G_t, adică accelerația mișcării oscilatorii a pendulului. Dacă unghiul α exprimat în radiani este mic, putem considera fără prea mare eroare: $\sin \alpha \approx \alpha$ și deci:

$$G_t = G \cdot \alpha.$$

Deci, forța care determină deplasarea pendulului este proporțională cu unghiul α, care reprezintă elongația unghiulară, iar arcul cuprins între laturile sale reprezintă elongația liniară. Mărimea acestui unghi, exprimată în

Scanned with OKEN Scanner

radiani, este $\alpha = \frac{x}{l}$, unde x reprezintă lungimea arcului AD și l, lungimea pendulului.

Forța care readuce pendulul în poziția de echilibru, cînd unghiul α este mic, este deci proporțională cu elongația liniară x. Din figura 8 vedem că forța $\vec{G}_t$ este orientată în sens contrar elongației. Ca atare, înlocuind valoarea lui α în relația de mai sus și ținînd seama că $\vec{G}_t$ și x au semne contrare:

$$G_t = -G\frac{x}{l} = -mg\frac{x}{l}.$$

Rezultă că și accelerația oscilației va fi proporțională cu elongația, dar de sens contrar.

Deci, pentru amplitudini nu prea mari, mișcarea oscilatorie a acestui pendul va fi o *mișcare oscilatorie armonică* la fel ca mișcarea oscilatorie a pendulului elastic. Valoarea maximă a unghiului reprezintă amplitudinea unghiulară a oscilației, iar arcul subînscris de el reprezintă amplitudinea liniară a oscilației. Că oscilațiile acestui pendul sînt armonice ne putem convinge construind graficul lor. Acest lucru îl putem face sau procedînd ca la paragraful 3 (v. fig. 5), sau pe cale experimentală (fig. 9). Prin orificiul din vîrful unui con atîrnat de un fir se scurge o vînă subțire de nisip, care se lipește de o bandă de hîrtie umezită cu apă. Dacă acest pendul nu oscilează, trăgînd banda, apare pe hîrtie o linie dreaptă de nisip (în figură linia punctată), centrală.

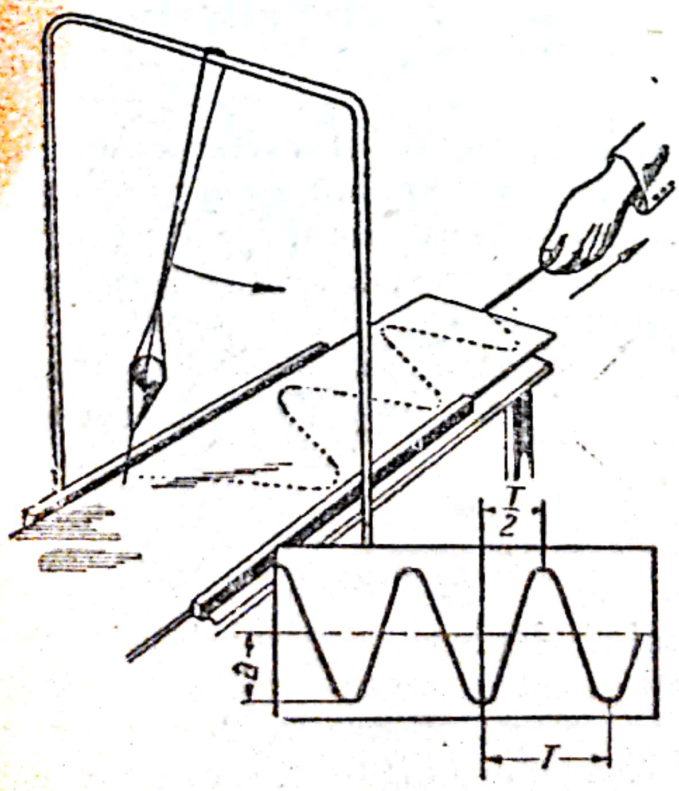


Fig. 9. Înregistrarea oscilațiilor unui pendul.

Dacă facem să oscileze armonic pendulul

Scanned with OKEN Scanner

și-i imprimăm benzii o mișcare uniformă în plan orizontal după o direcție perpendiculară pe planul de oscilații, pe bandă apare o sinusoidă caracteristică oscilațiilor armonice. Tot experimental s-ar putea înregistra și oscilațiile armonice ale pendulului elastic, obținînd același rezultat. În cazul pendulului de față, forța ce-i imprimă mișcarea oscilatorie nu este o forță elastică, ci componenta G_t a forței de gravitație. O forță neelastică, dar care imprimă o mișcare la fel cu o forță elastică, se numește forță cvasielastică. Deci, forța G_t care acționează asupra pendulului este o forță cvasielastică.

6. **Legile pendulului.** Oscilațiile unui pendul pentru amplitudini mici se supun legilor pendulului.

Legea I. *Experiență*: Să imprimăm o mișcare oscilatorie unui pendul, astfel ca amplitudinea lui să nu treacă de 4—6° și să numărăm oscilațiile efectuate în timp de 10 s, apoi să repetăm experiența de mai multe ori pentru amplitudini diferite, tot sub 4—6°, numărînd de fiecare dată oscilațiile efectuate tot în 10 s. Se constată că pendulul a făcut același număr de oscilații în toate cazurile. Dacă pendulul a efectuat același număr de oscilații în intervale egale de timp, cu amplitudini diferite, rezultă că fiecare oscilație a fost efectuată în același interval de timp, adică oscilațiile au aceeași perioadă. Astfel de oscilații se numesc *izocrone*.

Din această experiență deducem *prima lege* a pendulului, cunoscută și sub numele de *legea izocronismului*, care se enunță astfel:

Perioada oscilațiilor de amplitudine mică nu depinde de amplitudine; sau: oscilațiile de amplitudine mică sînt izocrone.

Această lege prezintă o importanță deosebită în construcția instrumentelor de măsurat timpul. Ea a fost descoperită în 1583 de Galileo Galilei.

Legea a II-a. *Experiență*: Să luăm două pendule de lungimi egale, cu sferele de raze egale, dar de natură diferită (de exemplu, o sferă de lemn și cealaltă de fier) și să le depărtăm la aceeași distanță de poziția de echilibru, lăsîndu-le să oscileze liber. Constatăm că, deși masele

Scanned with OKEN Scanner

pendulelor sînt diferite, oscilațiile au aceeași perioadă. De aici deducem *legea a doua*: *perioada oscilației nu depinde de masa pendulului și nici de natura lui.*

Legea a III-a. *Experiență.* Fie două pendule de lungimi diferite. Depărtîndu-le la aceeași distanță față de poziția de echilibru, avînd grijă ca amplitudinea să fie mică și lăsîndu-le să oscileze liber, vom constata că pendulul mai scurt oscilează mai repede, adică perioada lui de oscilație este mai mică decît a pendulului mai lung. Presupunînd că am luat pendulul al doilea de 4 ori mai lung decît primul observăm că perioada lui de oscilație este de două ori mai mare decît perioada de oscilație a pendulului mai scurt. Repetînd experiența cu un pendul de 9 ori mai lung, perioada lui va fi de trei ori mai mare ș.a.m.d. Din această experiență deducem *legea a treia*: *perioada de oscilație a pendulului este direct proporțională cu rădăcina pătrată a lungimii pendulului.*

Legea a IV-a. În locuri de latitudini diferite pe suprafața pămîntului se constată că pendulul oscilează mai repede spre poli decît spre ecuator. Cunoscînd în fiecare loc accelerația gravitației și măsurîndu-se perioada de oscilație, s-a dedus *legea a IV-a*, al cărei enunț este următorul: *perioada de oscilație este invers proporțională cu rădăcina pătrată a accelerației gravitaționale.*

Aceste patru legi pot fi exprimate printr-una din relațiile:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \qquad (14)$$

unde am notat:

T — perioada oscilației complete;
l — lungimea pendulului;
g — accelerația gravitației.

Această formulă poate fi ușor stabilită ținînd seama că pentru oscilațiile mici pendulul gravitațional execută o mișcare oscilatorie armonică. În acest caz, accelerația $a = -\omega^2 x$, unde x este elongația liniară. Se știe că forța cvasielastică sub acțiunea căreia oscilează pendulul este $G_t = -mg\frac{x}{l}$ deci accelerația $a = -g\frac{x}{l}$.

Scanned with OKEN Scanner

Din compararea celor două formule ale accelerației obținem:

$$\omega^2 = \frac{g}{l}\ ;\ \text{dar}\ \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Înlocuind, obținem:

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{g}{l},$$

adică:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

7. **Pendulul compus.** Legile găsite mai înainte sînt legile pendulului matematic. În practică se utilizează *pendulul compus (pendul fizic). Pendulul compus este un corp rigid care oscilează în jurul unui ax care nu trece prin centrul său de greutate* (fig. 10). Acest pendul este compus dintr-o infinitate de puncte materiale situate la distanțe diferite față de ax, care pot fi considerate ca pendule matematice de diferite lungimi. Deoarece pendulul compus oscilează ca un întreg, perioada sa de oscilație va fi cuprinsă între cea mai mică și cea mai mare perioadă a punctelor sale izolate.

Pentru orice pendul compus putem alege totdeauna un pendul matematic care să aibă aceeași perioadă de oscilație.

Lungimea l a pendulului matematic de aceeași perioadă cu a pendulului compus se numește lungime redusă a pendulului compus ($OO' = l$, G = centrul de greutate). Formulele (11 și 12) folosite pentru aflarea perioadei pendulului matematic pot fi folosite și pentru pendulul compus, dacă introducem lungimea redusă a pendulului fizic. Studiul pendulului compus a fost

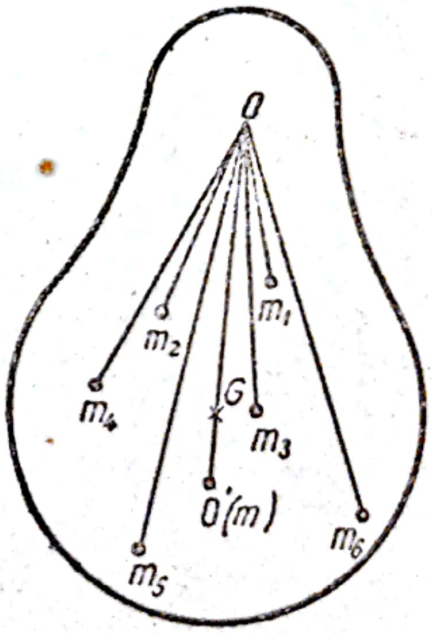


Fig. 10. Pendul fizic.

Scanned with OKEN Scanner

făcut de către fizicianul olandez Christian Huygens, care a stabilit legile lui de mișcare.

8. **Aplicațiile pendulului.** Cunoașterea pendulului și a legilor lui este necesară datorită aplicațiilor practice pe care le are. El servește atît la măsurarea timpului cît și la determinarea precisă a accelerației gravitației.

a) *Măsurarea timpului.* La măsurarea timpului, pendulul servește ca regulator al mersului ceasornicului. În figura 11 este prezentată schema mecanismului unui ceas cu pendul. Din figură se vede că ceasornicul este constituit din două părți: mecanismul motor și mecanismul regulator. Mecanismul motor este format aici din roata dințată R, fixată pe un ax A pe care se înfășoară o sfoară de capătul căreia este fixată o greutate G. Această greutate, prin cădere, pune în mișcare roata R, care este angrenată cu alte roți ce pun în mișcare acele ceasornicului (nu sînt prezentate în figură). Mișcarea roții R, produsă prin căderea greutății G, este neuniformă, dar acele ceasornicului trebuie să se miște uniform. Uniformizarea mersului ceasornicului se face de către pendulul P, care, prin intermediul furcii F, face ca roata R să se învîrtească uniform.

Cînd pendulul oscilează, mișcă furca F, care lasă să sară cîte un dinte al roții la intervale de timp egale. Reglarea mersului ceasornicului se bazează pe legea izocronismului oscilațiilor mici.

Rolul greutății G este de a întreține oscilațiile pendulului, care, datorită frecării, s-ar amortiza. La alte ceasornice, mecanismul motor este constituit, în majoritatea cazurilor, dintr-un arc care se destinde, iar rolul de regulator al mișcării îl are balansierul (rotița care oscilează). Astăzi se cunosc și alte tipuri de ceasornice care măsoară timpul cu cea mai mare precizie.

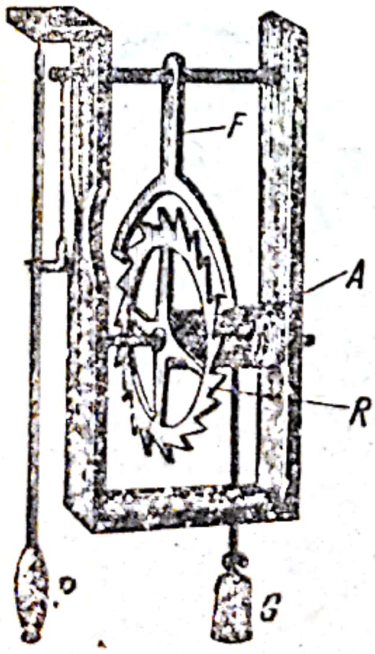


Fig. 11. Mecanismul unui ceas cu pendul (întreținerea oscilațiilor).

Scanned with OKEN Scanner

b) Măsurarea accelerației gravitației. Din formula

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{deducem:}$$

$$g = \frac{4\pi^2 l^2}{T^2} \qquad (12).$$

Cunoscînd lungimea l și perioada T, putem determina accelerația gravitației g.

O valoare mai exactă a lui g se obține folosindu-se un pendul fizic, unde l este lungimea redusă.

Cunoașterea cît mai precisă a lui g, care reprezintă nu numai accelerația gravitației într-un loc dat, ci și valoarea forței cu care Pămîntul atrage unitatea de masă, adică intensitatea cîmpului gravitațional, are o foarte mare importanță practică.

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 1

Determinarea accelerației gravitației (g)

Aparate necesare: Un pendul realizat dintr-un fir subțire, rezistent și lung, de care este legată o sferă de metal. Celălalt capăt al firului este fixat de un suport (v. fig. 8). Un cronometru.

Mersul lucrării. Se determină lungimea l, care este egală cu lungimea firului mărită cu raza sferei. Sfera fiind omogenă și de diametru mic în raport cu lungimea firului, considerăm masa ei concentrată în centrul de greutate (centrul sferei). Măsurăm cît mai precis perioada de oscilație T. Pentru aceasta aflăm, cu ajutorul cronometrului, în cît timp se efectuează un mare număr de oscilații, de exemplu, 100 oscilații complete de amplitudine mică.

Notăm numărul de oscilații cu N și timpul cu t. În acest caz $T = \frac{t}{N}$. Folosind formula $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ și înlocuind pe T, obținem relația $g = \frac{4\pi^2 l N^2}{t^2}$, care ne dă valoarea lui g, fără a mai calcula pe T.

Repetăm experiența de mai multe ori, apoi aflăm valoarea medie a lui g (g_m). Datele experimentale le înscriem într-un tabel de forma următoare:

Nr. exp.	l în cm	Nr. oscilațiilor	t în s.	g în $\frac{cm}{s^2}$	g_m

Scanned with OKEN Scanner

Christian Huygens

Christian Huygens s-a născut la 14 aprilie 1629 la Haga și a murit la 8 iunie 1695. Contemporan cu Descartes, Newton și Leibnitz, a fost unul din continuatorii operei lui Galilei și adversar hotărît al multor concepții ale lui Newton. Datorită marii autorități de care se bucura Newton, a trebuit să treacă mult timp pînă să fie recunoscută valoarea operei sale. Huygens are lucrări în diferite domenii ale fizicii. În mecanică a rezolvat problema forței centrifuge și a stabilit legile pendulului fizic. Primul ceasornic exact cu pendul datează de la el. În domeniul opticii a emis „teoria ondulatorie" a luminii, combătînd „teoria corpusculară" a lui Newton. În domeniul astronomici a construit o lunetă cu care a descoperit inelul lui Saturn etc.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce numim mișcare oscilatorie?
2. Cînd este o mișcare oscilatorie periodică și cînd este pseudoperiodică?
3. Care sînt mărimile caracteristice mișcării oscilatorii, cum se definesc și care sînt unitățile lor?
4. Ce se înțelege prin mișcare oscilatorie armonică și care sînt ecuațiile sale?
5. Ce se înțelege prin oscilații amortizate?
6. Ce numim pendul matematic?
   Dar pendul fizic?
7. Să se enunțe legile pendulului.
8. Cum se definește lungimea redusă a pendulului fizic?
9. Ce aplicații are pendulul?
10. Cum se va schimba perioada de oscilație a unui pendul dacă îl transportăm din aer în apă sau în ulei?
11. Cum se va schimba mersul unui ceasornic cu pendul în timpul verii față de mersul în timpul iernii?

Scanned with OKEN Scanner

1. Să se determine perioada de oscilaţie a unui pendul elastic format dintr-o greutate de masă $m = 2{,}5$ kg, suspendată de un resort, care sub acţiunea unei forţe $F = 29{,}4$ N se întinde cu 9 cm.

R. — 0,55 s.

2. Un corp cu masa $m = 100$ g este suspendat de un resort. Trăgînd corpul în jos cu o forţă de 0,98 N, se depărtează de poziţia de echilibru cu 2 cm. Fiind lăsat liber, începe să oscileze.

Să se studieze mişcarea corpului, considerînd ca origine a spaţiului poziţia de echilibru şi ca origine a timpului momentul în care este lăsat liber.

3. Lungimea unui pendul care bate secunda într-un loc de pe pămînt este de 0,995 m. Să se calculeze acceleraţia gravitaţiei în acel loc.

R. $\approx 9{,}81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

4. Un pendul lung de 0,5 m, cu greutatea de 1,96 N, oscilează după un arc de cerc care subîntinde o coardă de 30 cm. Să se afle mărimea forţei care mişcă pendulul la extremităţi.

R. 1,176 N, considerînd coarda egală cu arcul subîntins.

5. Un ceasornic cu pendul rămîne în urmă cu o oră în timp de 24 ore. Pentru ca ceasornicul să indice ora exactă ce trebuie să facem, să scurtăm sau să lungim pendulul?

R. Se va scurta.

6. Un ceasornic cu pendul de cupru, la temperatura de 0°C, avansează cu 7 s în timp de 24 ore, iar la temperatura de 20°C rămîne în urmă cu 9 s în 24 de ore. Să se calculeze coeficientul de dilataţie al cuprului.

R. 0,00002 grad^{-1}.

UNDE ELASTICE

9. **Propagarea oscilaţiilor într-un mediu elastic.** Prin mediul elastic înţelegem o substanţă în care deformările care se produc sînt deformări elastice (deformări proporţionale cu solicitarea exterioară).

Un mediu elastic permite producerea şi propagarea oscilaţilor elastice. Dacă într-o regiune a unui mediu elastic se produce o mişcare oscilatorie, ea se comunică mai departe, din aproape în aproape, cu o anumită viteză care depinde de natura mediului elastic. Fiecare punct al mediului elastic

Scanned with OKEN Scanner

de pe direcția de propagare oscilează cu aceiași amplitudine, dar este în întîrziere de fază față de punctele dinaintea lui. De acest adevăr ne putem convinge efectuînd următoarea experiență: fie un tub de cauciuc AB cu extremitatea B fixă. Prindem cu mîna extremitatea A și întindem tubul orizontal (fig.12, *a*), apoi mișcînd brusc mîna în

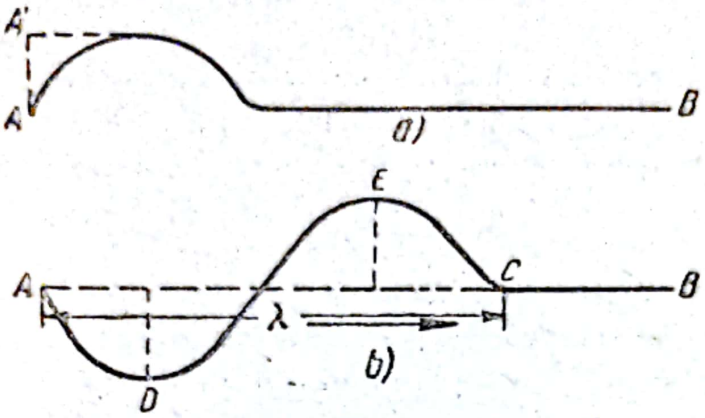


Fig. 12. Propagarea unei oscilații în lungul unui tub de cauciuc.

sus și în jos (de la $A-A'-A$), observăm că se produce mai întîi o ridicătură, apoi o adîncitură care se propagă împreună în tot lungul tubului (fig. 12, *b*) cu o anumită viteză.

Fenomenul de propagare a oscilațiilor într-un mediu elastic se numește mișcare ondulatorie, iar forma sub care se propagă oscilațiile se numește undă.

Ridicătura și adîncitura din exemplul de față constituie o *undă*. De remarcat că *în procesul de propagare a oscilațiilor se propagă numai mișcarea și nu particulele materiale*. Un exemplu concludent în această privință îl pot constitui undele provocate la suprafața unei ape liniștite, prin aruncarea unei pietre (fig. 13). În locul unde piatra atinge suprafața apei se produce o adîncitură, apoi o ridicătură, care se propagă spre mal sub formă de unde circulare de lichid sau valuri. Aceste unde nu sînt unde elastice, ci se datoresc forței gravitaționale și tensiunii superficiale a lichidului, dar se propagă întocmai ca cele elastice. Dacă pe suprafața apei am pus un corp să plutească, de

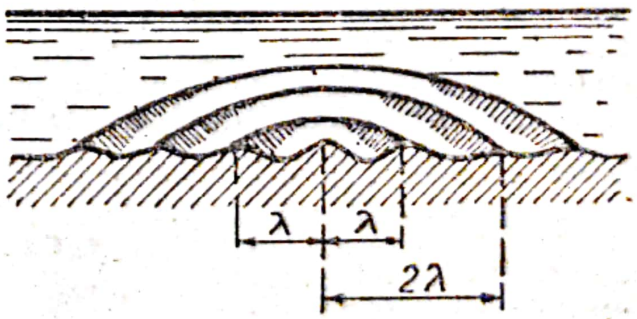


Fig. 13. Producerea undelor la suprafața apei

exemplu o frunză, constatăm că frunza se ridică și se coboară fără a se deplasa spre mal odată cu valul. Această experiență demonstrează că, în mișcarea ondulatorie, *particulele corpului ce oscilează nu se deplasează o dată cu unda de-a lungul ei, ci se propagă numai oscilația.*

10. **Unde transversale.** Dacă oscilațiile particulelor se fac perpendicular pe direcția de propagare a undei, unda se va numi *transversală*. De exemplu: undele produse în tubul de cauciuc din figura 12, sau undele produse pe suprafața apei (fig. 13) prin aruncarea pietrei, sînt unde *transversale*, deoarece oscilațiile particulelor materiale se fac perpendicular pe direcția de propagare. În coarda unei viori, cînd tragem cu arcușul, se produc unde transversale. Cînd într-un corp elastic se produc unde transversale, corpul își schimbă forma. *Aceste unde se vor produce deci numai în corpurile elastice solide*, deoarece numai ele au formă proprie.

11. **Unde longitudinale.** Dacă oscilațiile particulelor materiale se fac paralel cu direcția de propagare a undei, unda se numește *longitudinală*.

Punem în evidență undele longitudinale cu ajutorul unui resort (fig. 14). Acționînd cu o forță momentană F de comprimare, asupra extremității A, se va produce o comprimare a spirelor de la această extremitate, urmată de o destindere (dilatare), ambele se vor propaga de-a lungul resortului. În acest caz, comprimarea și destinderea spirelor se face în direcția deplasării undei. Avem de-a face deci cu *unde longitudinale*. Observăm că undele longitudinale se produc prin variația densității corpului care oscilează. Ele se pot produce în toate corpurile: solide, lichide și gazoase.

Și în cazul undelor longitudinale se propagă numai mișcarea și nu particulele materiale.

12. **Lungimea de undă.** Particulele care în aceleași momente se află în aceeași situație față de poziția de echilibru și se mișcă în același sens, de exemplu, punc-

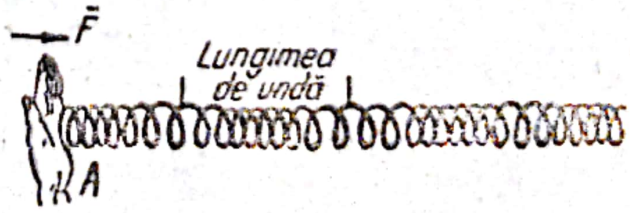


Fig. 14. Propagarea undelor longitudinale într-un resort.

cle A și C (fig. 12), spunem că sînt în *concordanță de fază*. Particulele simetrice față de poziția de echilibru, mișcîndu-se în sensuri opuse, spunem că sînt în *opoziție de fază*, adică au o diferență de fază de 180°, (de exemplu, punctele D și E — fig. 12). *Distanța dintre două puncte consecutive (luate pe direcția propagării undei) care trec simultan prin poziția de echilibru și se mișcă în același sens, se numește lungime de undă.* Lungimea de undă se notează cu litera grecească λ (lambda). Din figurile 12 și 13 se observă că *lungimea de undă este egală cu distanța străbătută de undă în timpul unei perioade T a unei oscilații complete.*

Distanța parcursă de undă în unitatea de timp măsoară viteza de propagare a undei, pe care o notăm cu v. Această viteză depinde, între altele, de natura mediului elastic în care se propagă unda. Între cele trei mărimi λ, v și T există relația:

$$\lambda = vT \tag{13}$$

Ținînd seama de relația $T = \frac{1}{\nu}$, relația (13) se mai poate scrie și sub următoarele forme:

$$\lambda = \frac{v}{\nu}, \quad \text{sau} \quad v = \lambda \cdot \nu.$$

13. **Suprafața de undă. Raza.** Să presupunem că centrul de oscilație punctiform se găsește într-un mediu continuu, *omogen*, *izotrop* și *perfect elastic*, pentru ca să nu se producă nici o deformare permanentă, iar propagarea undei să nu dea loc la alte transformări de energie[1]. În această situație, energia cinetică se transformă total în energie potențială și reciproc, iar oscilațiile produse de centrul de oscilație se vor propaga uniform în toate direcțiile. Toate punctele mediului care vor oscila în concordanță de fază se vor găsi în acest caz pe o suprafață sferică (fig. 15), care se numește *suprafață de undă*. Deci, *suprafața de undă reprezintă locul geometric al tuturor punctelor care oscilează în concordanță de fază.*

[1] Un mediu este omogen, dacă are aceeași constituție în orice punct și este izotrop, din punctul de vedere al propagării oscilațiilor, dacă în orice punct al mediului forța elastică este independentă de direcție.

Scanned with OKEN Scanner

Locul geometric al punctelor la care a ajuns mișcarea oscilatorie la un moment dat reprezintă *frontul de undă*. Direcția de propagare a undei se numește *rază* și este normală la suprafața de undă. În cazul undelor sferice sînt o infinitate de direcții de propagare după direcțiile razelor suprafețelor de unde sferice. Dacă considerăm o serie de suprafețe sferice concentrice, ale

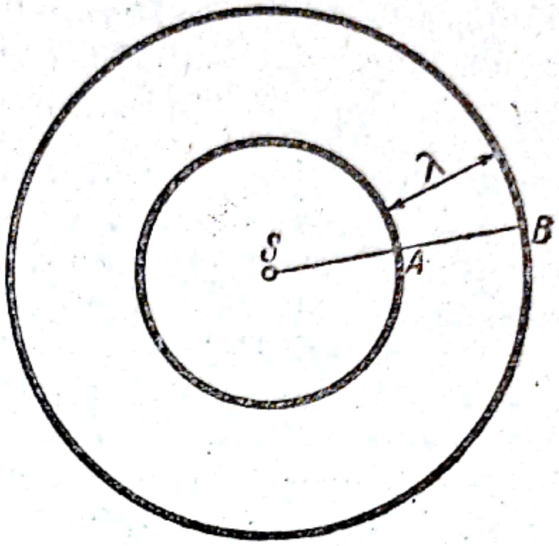


Fig. 15. Suprafața de undă.

căror raze să crească cu λ, toate punctele lor aflate în stare de oscilație vor fi în concordanță de fază. Pe măsură ce undele se depărtează de centrul de oscilație, razele suprafețelor de undă se măresc, curbura suprafețelor devine din ce în ce mai mică și la un moment dat, cînd centrul de oscilație S este foarte depărtat ($la \infty$), suprafețele de undă devin plane, paralele între ele, iar razele devin de asemenea paralele. În acest caz spunem că aceste unde sînt *unde plane*.

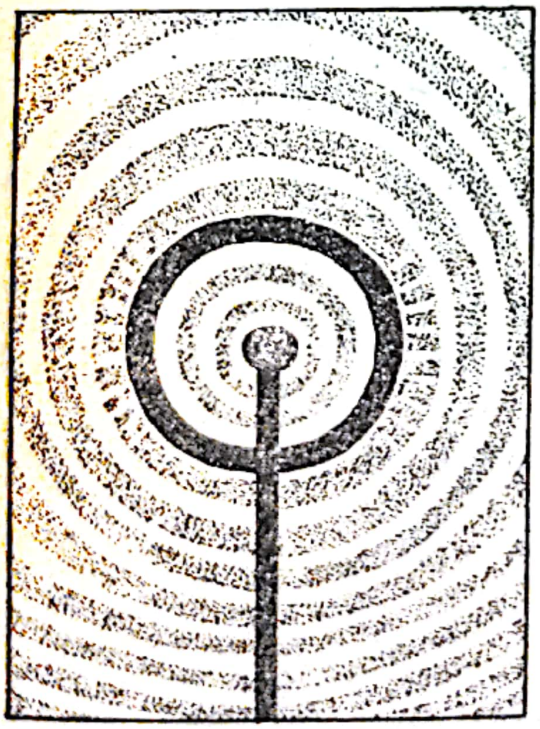


Fig. 16. Demonstrarea principiului lui Huygens.

14. Principiul lui Huygens. Presupunem efectuarea următoarei experiențe: într-o cuvă întinsă de formă paralelipipedică punem un lichid, apă sau mercur. O lamă elastică lovește periodic suprafața lichidului, producînd unde circulare concentrice. Cuva este împărțită în două compartimente de un perete despărțitor de formă cilindrică (fig. 16),

prevăzut cu un număr de fante laterale, mici față de lungimea de undă, și așezat în partea centrală a cuvei. În timp ce lama elastică vibrează, observăm că undele care ating peretele despărțitor se întorc înapoi, iar fantele servesc ca surse de oscilații ce se propagă în compartimentul al doilea, sub formă de semicercuri. Deci *fantele au devenit noi centre de oscilație, de la care oscilațiile se propagă înainte, în toate direcțiile*. Dacă numărul fantelor este mare, în compartimentul al doilea se vor produce unde circulare continue (fig. 16). Această experiență sugerează ideea că: *fiecare punct al mediului pînă la care a ajuns suprafața de undă devine o sursă secundară de oscilații*. Această afirmație nu este altceva decît enunțul *principiuli lui Huygens*. Prin analogie cu experiența de mai sus, considerînd centrul de oscilații în spațiu, într-un mediu omogen și izotrop, oscilațiile se vor propaga sub formă de unde sferice. Dacă ne imaginăm acest centru înconjurat de o suprafață sferică S, oscilațiile ce ating această suprafață nu pot ajunge în exteriorul ei decît prin intermediul punctelor sale, care vor constitui tot atîtea surse secundare de oscilații.

Cunoașterea acestui principiu prezintă o mare importanță, deoarece cu ajutprul lui putem să construim foarte ușor suprafețele de undă și să explicăm o serie de fenomene, ca: reflexia, refracția, difracția etc., fenomene pe care le vom întîlni în acustică, optică și oriunde va fi vorba de mișcare oscilatorie.

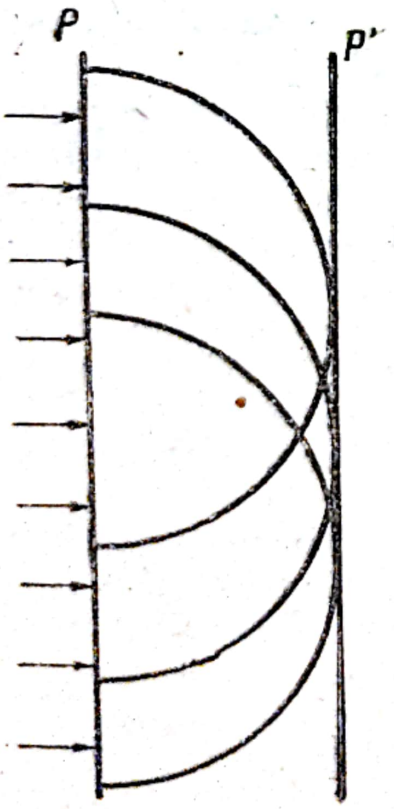


Fig. 17. Construcția lui Huygens pentru o undă plană.

Ca exemplu, să ne propunem a construi frontul de undă a unei unde plane care se propagă într-un mediu omogen și izotrop. Frontul undei la un moment dat este planul P (fig. 17), iar sensul de propagare al undei este indicat de săgeți. Conform principiului lui Huygens, punctele planului P sînt tot atîtea surse secundare de oscilații. Considerînd aceste puncte ca centre de oscilație și construind în jurul

Scanned with OKEN Scanner

lor emisfere elementare cu razele egale cu spațiul străbătut într-un timp t, înfășurătoarea acestor emisfere va fi un plan P' paralel cu planul P și va reprezenta frontul de undă după trecerea intervalului de timp t. Razele acestor emisfere, care reprezintă direcțiile de propagare a oscilațiilor, sînt perpendiculare pe suprafața de undă, deci vor fi paralele între ele. Rezultă că unda plană ce se propagă într-uu mediu omogen și izotrop rămîne tot plană, iar razele formează un fascicul de drepte paralele.

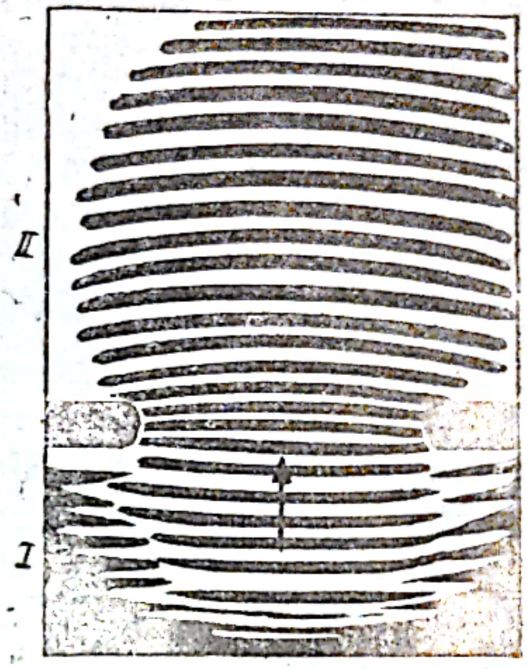


Fig. 18. Fanta este mare în comparație cu lungimea de undă.

15. **Difracția undelor.** Se propune următoarea experiență: într-o cuvă paralelipipedică întinsă punem un lichid oarecare, apă sau mercur. Cuva este împărțită în două compartimente (*I* și *II*) de un ecran prevăzut cu o fantă (fig. 18). Acest ecran poate fi înlocuit cu altul prevăzut cu o fantă de altă dimensiune. Să presupunem că producem în compartimentul *I* un șir de unde plane care întîlnesc în drumul lor ecranul prevăzut cu o fantă largă. Constatăm că, în acest caz, ecranul lasă să treacă o fîșie de unde plane avînd aproximativ aceeași lărgime cu deschiderea.

Privind cu atenție aceste unde, constatăm că ele sînt puțin curbate la extremități și trec, în parte, dincolo de obstacol, așa cum se vede și în figură.

Înlocuind pe rînd ecranul respectiv cu ecrane prevăzute cu fante din ce în ce mai mici, se constată că, pe măsură ce se micșorează lărgimea fantei, undele pătrund din ce în ce mai mult în spatele ecranului, ajungînd, la un moment dat, să ocupe tot compartimentul al doilea (fig. 19). A avut loc deci un fenomen de ocolire a obstacolului (ecranului) de către unde.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă lărgimea fantei este mică în comparație cu lungimea de undă, atunci fanta devine punctul de plecare al unui șir de unde care se propagă sub forma unor semicercuri (fig. 20). Dacă în locul ecranului cu fantă așezăm un obstacol mic (fig. 21), are loc de asemenea fenomenul de ocolire a lui.

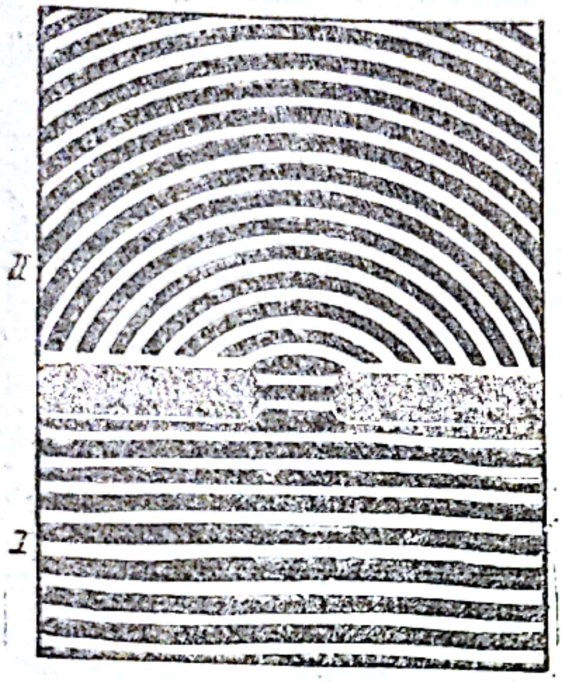


Fig. 19. Fanta este mai mică decît în expreiența precedentă.

Fenomenul de ocolire a obstacolului de către unde se numește difracția undelor.

Explicarea acestui fenomen se poate face foarte ușor, aplicînd principiul lui Huygens. Conform acestui principiu, fiecare punct al fantei la care a ajuns unda plană devine o sursă secundară de oscilație, care emite unde elementare în toate direcțiile; oscilațiile acestor surse vor fi în concordanță de fază. Dacă deschiderea fantei este mică față de lungimea de undă, putem înlocui, fără a face o eroare prea mare, toate sursele secundare printr-una singură, de la care vor pleca

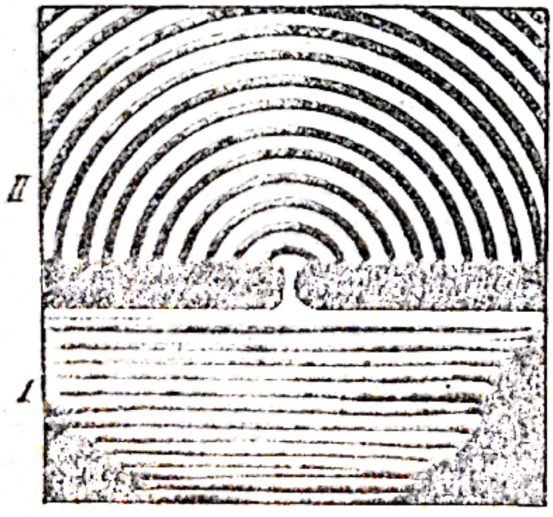


Fig. 20. Fanta este mică în comparație cu lungimea de undă.

Fig. 21. Undele ocolesc un obstacol mic.

Scanned with OKEN Scanner

în compartimentul al doilea unde semicirculare. Dacă deschiderea fantei este comparabilă cu lungimea de undă, nu mai putem face această înlocuire. În acest caz trebuie să considerăm fiecare punct al fantei ca o sursă independentă. Ca urmare, forma frontului de undă ce se propagă în compartimentul al doilea va fi a unei suprafețe curbe, ce se apropie de un plan pe măsură ce deschiderea fantei este mai mare.

În concluzie: *fenomenul de difracție se produce cînd dimensiunile obstacolelor sînt mai mici decît lungimea de undă sau comparabile cu ea.* Dacă această condiție nu este îndeplinită, difracția, în mod practic, nu se produce; în acest caz, regiunea de umbră se formează după legi pur geometrice.

16. **Reflexia undelor.** Folosind același dispozitiv de producere a undelor la suprafața unui lichid, ca în figura 16, din care am înlăturat ecranul cilindric, să producem un șir de unde circulare concentrice la suprafața lichidului, pornind din S. Observăm că undele se tot depărtează de centrul de perturbație S pînă ating pereții cuvei, apoi se întorc schimbîndu-și curbura, ca și cum ar porni din alt centru simetric S' situat în exterior (fig. 22). Mai observăm că undele care se înapoiază întîlnesc undele care vin spre pereții cuvei, dar nu se distrug. Aceasta ese o proprietate deosebită a mișcării ondulatorii.

Fenomenul de întoarcere a undelor cînd întîlnesc un obstacol se numește reflexie. Undele care se întorc se numesc *unde reflectate*, iar undele care pornesc de la centrul de oscilație spre pereții vasului se numesc *unde incidente*.

Fenomenul de reflexie are loc ori de cîte ori undele care se propagă întîlnesc suprafața

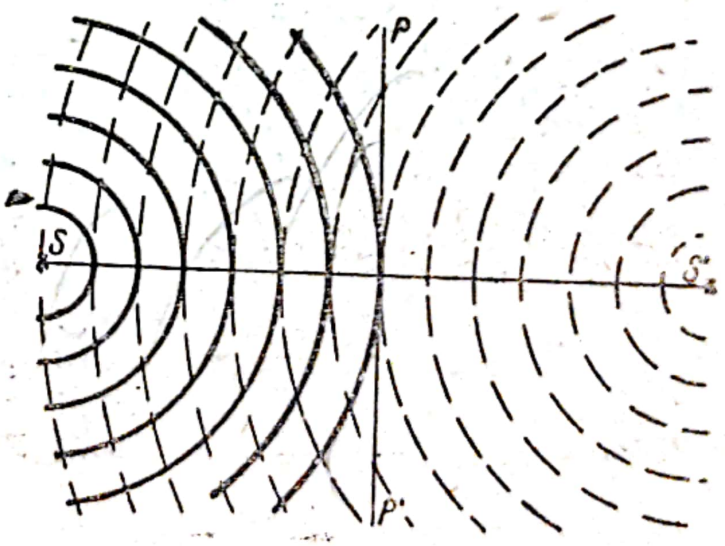


Fig. 22. Reflexia undelor la suprafața unui lichid.

Scanned with OKEN Scanner

unui obstacol (suprafața de separare a două medii) și se supune legilor reflexiei, pe care le vom studia pe larg la optică. Reflexia undelor elastice se poate pune în evidență cu ajutorul unui tub de cauciuc întins, sau cu ajutorul unui resort. Dacă fixăm, de exemplu, un capăt al unui tub de cauciuc de un perete, iar la celălalt

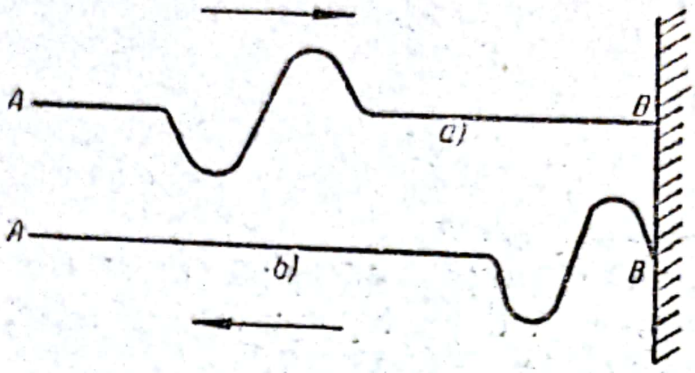


Fig. 23. Reflexia cu pierdere de $\frac{\lambda}{2}$.

producem o undă transversală, aceasta se propagă pînă la capătul fixat și se reflectă. La reflexia undelor se întîlnesc două cazuri:

1. Unda incidentă întîlnește suprafața de separare a unui mediu mai dens decît cel în care se propagă.

2. Unda incidentă întîlnește suprafața de separare a unui mediu mai puțin dens decît cel în care se propagă.

Aceste cazuri se demonstrează experimental astfel:

1. Să fixăm un capăt al unui tub de cauciuc de un perete, iar la celălalt să producem o undă transversală cu ridicătura în față (fig. 23, *a*). Unda reflectată se întoarce cu o adîncitură în față (fig. 23, b). Zicem că, în acest caz, *reflexia se produce cu schimbarea sensului elongației, sau că reflexia se produce cu o pierdere de* $\frac{\lambda}{2}$ (reflexie cu schimbare de semn).

2. Dacă legăm capătul tubului cu o sfoară pe care o fixăm apoi de un perete și producem o undă transversală cu ridicătura înainte (fig. 24,*a*), constatăm că unda reflectată se întoarce tot cu ridicătura înainte (fig. 24, *b*). Zicem că unda

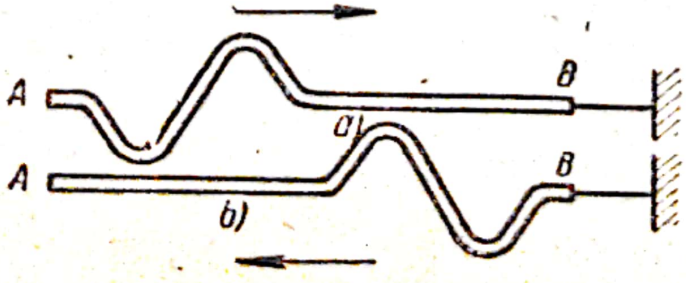


Fig. 24. Reflexia fără pierdere de $\frac{\lambda}{2}$.

Scanned with OKEN Scanner

se reflectă fără schimbarea sensului elongației, sau că unda se reflectă fără pierdere de $\frac{\lambda}{2}$ (reflexie fără schimbare de semn).

Dacă producem unde longitudinale, folosind un resort, întîlnim de asemenea aceste două cazuri.

Din exemplele de mai sus deducem legea următoare, care se aplică oricărui mediu elastic capabil de a propaga mișcarea oscilatorie:

Dacă densitatea mediului al doilea la care ajunge unda este mai mare decît densitatea primului mediu din care vine unda reflexia are loc cu schimbarea sensului elongației; dacă densitatea mediului al doilea este mai mică decît densitatea primului mediu, reflexia are loc fără schimbare de sens.

Ca și difracția, reflexia se poate explica cu ajutorul principiului lui Huygens.

17. Interferența undelor. Uneori se poate întîmpla ca într-un punct al unui mediu elastic să sosească în același timp două sau mai multe unde, provenind de la două sau mai multe surse de oscilație.

Punctul fiind solicitat de aceste unde, mișcarea lui va fi dată de rezultanta mișcărilor pe care le-ar efectua dacă ar fi solicitat succesiv de fiecare undă.

Fenomenul de suprapunere și compunere a două sau mai multe unde care se propagă în spațiu se numește interferență.

O importanță deosbită o prezintă interferența undelor de frecvențe egale. Unda rezultantă se obține aplicînd regula de compunere a vectorilor: se compun vectorial, în fiecare punct, elongațiile undelor ce interferă. De exemplu, să considerăm două unde de frecvențe egale *(1* și *2)* și în concordanță de fază (fig. 25), propagîndu-se în același sens de

Fig. 25. Interferența undelor de frecvențe egale și în concordanță de fază.

amplitudini A_1 și A_2. Pentru obținerea amplitudinii A a undei rezultante (3) compunem vectorii A_1 și A_2 (elongațiile maxime), care au aceeași direcție și același sens. Vectorul rezultant A va avea aceeași direcție și același sens cu vectorii

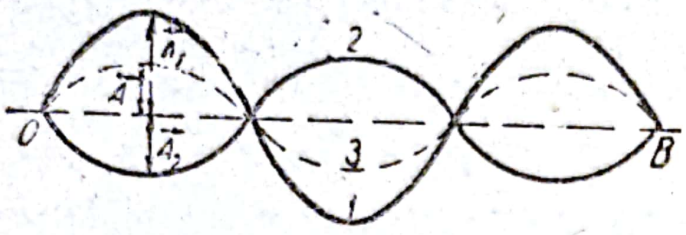


Fig. 26. Interferența undelor de frecvențe egale și în opoziție de fază.

A_1 și A_2 și valoarea absolută, care reprezintă amplitudinea oscilației, egală cu suma valorilor absolute a celor doi vectori: $A = A_1 + A_2$. Dacă $A_1 = A_2$, se vede clar că unda rezultantă va avea amplitudinea $A = 2A_1$. Cînd cele două unde sînt în opoziție de fază, elongația maximă A va rezulta din compunerea vectorială a doi vectori de același direcție, dar de sensuri opuse (fig.26). Valoarea absolută a vectorului rezultant A, adică amplitudinea undei rezultante, va fi egală cu diferența amplitudinilor undelor componente.

Ca exemplu să presupunem că $A_1 > A_2$; atunci $A = A_1 - A_2$. Dacă $A_1 = A_2$, rezultă că $A = 0$. Deci, un punct solicitat simultan de două unde de frecvențe egale și în opoziție de fază rămîne în starea sa inițială, dacă amplitudinile undelor sînt egale.

Fenomenul de interferență poate fi pus în evidență destul de bine experimental, folosind dispozitivul de la reflexia undelor, prevăzînd însă lama elastică cu două vîrfuri. Prin oscilația lamei, cele două vîrfuri vor produce la suprafața lichidului din cuvă unde concentrice care se vor propaga de la fiecare vîrf (fig. 27) în mod independent unele de altele. Vom observa că, dacă cele două grupe de unde ce pornesc din locul vîrfurilor care

Fig. 27. Interferența undelor produse pe suprafața lichidelor.

oscilează, ajung într-un punct de pe suprafața lichidului, astfel încît crestele ambelor unde sau adînciturile lor coincid în acest punct, atunci deviația particulelor de lichid de la poziția de echilibru crește. Acest fenomen se produce, așa după cum am văzut mai sus, cînd undele ajung la punctul respectiv în concordanță de fază. Dacă, dimpotrivă, în punctul de pe suprafața lichidului ajunge creasta undei provenite de la vîrf și adîncitura undei provenită de la celălalt vîrf, ceea ce se întîmplă cînd undele sosesc în opoziție de fază, particulele rămîn în echilibru. Zicem că undele își anihilează reciproc efectele. Pentru a face fenomenul cît mai vizibil se proiectează cu ajutorul unui fascicul de lumină, prin reflexie, pe ecran alb.

Se observă totodată că, deși undele se propagă, tabloul de interferență, în întregul lui, rămîne invariabil, deoarece diferența de fază a undelor este constantă și bine determinată.

Fenomenul de interferență apare numai cînd undele care ajung într-un punct al mediului au o diferență de fază constantă și bine determinată. Astfel de unde se numesc unde coerente. Sursele care produc unde coerente oscilează în aceeași fază.

Diferența de fază depinde de diferența de drum pe care oscilațiile o au de parcurs de la cele două surse coerente pînă în punctul considerat. Dacă diferența de drum este egală cu un număr par de $\frac{\lambda}{2}$, în punctul considerat oscilațiile ajung în concordanță de fază: oscilația rezultată are amplitudine maximă; dacă diferența de drum este egală cu un număr impar de $\frac{\lambda}{2}$, oscilațiile ajung în opoziție de fază; se formează un minim.

18. **Undele staționare.** Un caz deosebit de interferență îl constituie *undele staționare*. Aceste unde se formează prin interferența a două unde de amplitudini egale, care se propagă simultan, în sensuri contrare. De obicei, undele staționare se formează în cazul reflexiei prin suprapunerea undelor incidente cu cele reflectate. Să legăm o coardă bine întinsă SR în punctul S la un vibrator, iar în R s-o lixăm, așa cum se vede în figura 28. Dacă la capătul S producem un șir de unde, acestea se vor propaga pînă în R, de unde vor veni înapoi un alt șir de unde reflectate. Undele incidente și undele reflectate au amplitudini și perioade egale, dar

Scanned with OKEN Scanner

se vor propaga în sensuri contrarii. Ele vor interfera dînd o mişcare ondulatorie compusă, cunoscută sub numele de *unde staţionare*. Aparatul cu care producem astfel de unde, precum şi forma unei unde staţionare sînt reprezentate în figura 28.

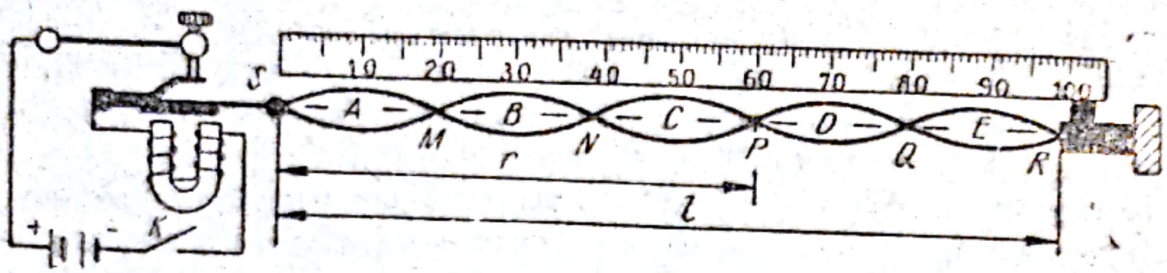


Fig. 28. Aparat de producere a undelor staţionare.

Din figură se vede că unele puncte vibrează cu amplitudine maximă (A, B, C etc.), iar altele rămîn în repaus, adică au amplitudinea rezultantă nulă. Punctele de maxim de vibraţie se numesc *ventre* (A, B, C), iar punctele unde coarda rămîne în repaus se numesc *noduri* (M, N, P etc.). Observăm că poziţia ventrelor şi a nodurilor rămîne constantă în timp.

Distanţa dintre două ventre succesive, sau dintre două noduri succesive, este egală cu $\frac{\lambda}{2}$. *Astfel de unde în care unele puncte egal depărtate sînt ventre, iar altele situate la jumătatea distanţei dintre două ventre succesive sînt noduri, poziţia lor rămînînd neschimbată, se numesc unde staţionare.*

Undele staţionare se formează în cazul de faţă numai cînd lungimea coardei este egală cu un număr întreg de $\frac{\lambda}{2}$.

Condiţiile de formare a nodurilor şi ventrelor (minimelor şi maximelor de interferenţă) pot fi stabilite folosindu-ne de figura 28, care corespunde reflexiei cu schimbare de sens a elongaţiei. Fie $S\,R$ coarda (linia punctată reprezintă direcţia coardei în repaus) de lungime l şi P un punct pe ea, la distanţa $S\,P = r$ de S, în care sosesc simultan: unda incidentă plecată din S şi unda reflectată în punctul R. Drumul parcurs de unda incidentă este $S\,P$, iar drumul parcurs de unda reflectată este: $S\,R + R\,P + \frac{\lambda}{2}$, unde $\frac{\lambda}{2}$ se adaugă datorită schimbării de sens a elongaţiei. Între cele două unde este deci o diferenţă de drum

$\Delta = SR + RP + \frac{\lambda}{2} - SP = 2RP + \frac{\lambda}{2} = 2\ (l - r) + \frac{\lambda}{2}$. Din figura 28 se observă că: $l = 5\frac{\lambda}{2}$ și $r = SP = 3\frac{\lambda}{2}$. Rezultă că $\Delta = 5\ \frac{\lambda}{2}$. Dacă $r = SN = 2\ \frac{\lambda}{2}$ se obține $\Delta = 7\ \frac{\lambda}{2}$; iar pentru cazul cînd $r = SQ = 4\ \frac{\lambda}{2}$, rezultă că $\Delta = 3\ \frac{\lambda}{2}$ etc. Cum în punctele P, Q, N, M sînt noduri (minime) de vibrație, tragem concluzia că: *pentru ca două unde ce interferă să formeze un minim trebuie ca diferența de drum dintre ele să fie egală cu un număr impar* de $\frac{\lambda}{2}$, adică $\Delta = (2n + 1)\ \frac{\lambda}{2}$.

Dacă se consideră $r = PB = 3\frac{\lambda}{4}$, se obține $\Delta = 8\ \frac{\lambda}{2}$; iar dacă $r = SC = 5\ \frac{\lambda}{4}$, $\Delta = 6\ \frac{\lambda}{2}$ etc. Deoarece punctelor A, B, C, D ...le corespund maxime (ventre) de vibrație, înseamnă că: *pentru ca două unde ce interferă să formeze un maxim de vibrație, trebuie ca diferența de drum dintre ele să fie egală cu un număr par de* $\frac{\lambda}{2}$, *adică un număr întreg de* λ.

Matematic, condiția de maxim se exprimă astfel: $\Delta = 2n\ \frac{\lambda}{2} = n\lambda$ (Concluziile de mai sus sînt valabile pentru interferență în general). Cînd reflexia are loc fără schimbare de semn, $\Delta = 2\ (l - r)$, iar discuția se face la fel ca mai sus.

Calculul arată că pe cînd la undele ce se propagă, numite unde progresive, amplitudinea este constantă, iar faza variază de la un punct la altul, la undele staționare faza este aceeași pentru toate punctele, dar amplitudinea variază cu distanța.

19. **Rezonanța.** Am văzut că lăsînd să oscileze liber un pendul, oscilațiile sale se amortizează cu timpul din cauza frecărilor. Pentru ca aceste oscilații să nu se amortizeze, este necesar să acționăm periodic asupra pendulului cu o forță exterioară, pentru a compensa energia consumată prin

Scanned with OKEN Scanner

învingerea frecării (așa cum se procedează la ceasornice). Aceste oscilații nu mai sînt libere; ele se numesc oscilații forțate, deoarece asupra corpului oscilant acționează o forță din exterior. O foarte mare importanță o prezintă modul cum acționează forța exterioară asupra corpului care oscilează. După cum am văzut, atît pendulul elastic cît și pendulul gravitațional au o perioadă proprie de oscilație, care în cazul pendulului elastic este dată de relația $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$, iar în cazul pendulului gravitațional este dată de relația $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Dacă asupra unuia dintre aceste pendule acționează o forță exterioară periodică, a cărei perioadă coincide cu perioada pendulului, după cîteva șocuri, amplitudinea oscilațiilor crește sensibil. Dacă forța exterioară nu acționează la intervale de timp egale cu perioada proprie a pendulului, șocurile imprimate vor frîna mișcarea în loc s-o ajute. O experiență simplă care pune în evidență atît frînarea mișcării cît și stimularea ei se poate face cu ajutorul unor pendule simple suspendate de același suport. Printre aceste pendule luăm cel puțin două de lungimi egale, deci avînd perioade egale, iar celelalte, de lungimi diferite (fig. 29). Făcînd să oscileze liber, de exemplu, pendulul *1*, constatăm că mișcarea se transmite și pendulelor *2*, *3*, *4*, dar pe cînd oscilațiile pendulelor *2* și *3* se amortizează repede, oscilațiile pendulului *4*, a cărui lungime este egală cu lungimea pendulului *1*, cresc în amplitudine. Cînd oscilațiile pendulului *1* aproape au încetat, oscilațiile pendulului *4* au ajuns la maximum de amplitudine, apoi mișcarea se transmite iar pendulului *1* ș.a.m.d. Pendulul *4*, avînd perioada egală cu a pendulului *1*, a intrat în oscilație sub acțiunea oscilațiilor pendulului *1*. Se zice că cele două pendule sînt în *rezonanță*.

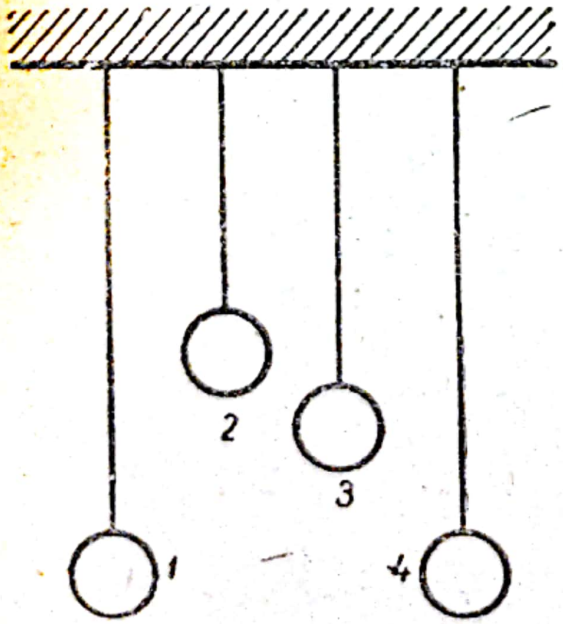


Fig. 29. Rezonanța la pendule.

Scanned with OKEN Scanner

Fenomenul de oscilație a unui corp sub acțiunea unei forțe exterioare, periodică, avînd perioada egală cu perioada de oscilație a corpului, se numește **rezonanță.**

Oricine a trecut pe o punte așezată peste o apă, sau pe un pod suspendat, s-a putut convinge de existența acestui fenomen. Pășind pe punte în același ritm cu perioada ei proprie, amplitudinea de oscilație a punții devine așa de mare, încît înaintarea este periculoasă.

În timpul războaielor napoleoniene din Spania, peste un anumit pod a trecut o unitate militară în pas cadențat. Podul fiind suspendat și pasul bătut voinicește nimerindu-se să fie în același tact cu perioada oscilațiilor podului, amplitudinea oscilațiilor a devenit atît de mare, încît lanțurile s-au rupt și podul s-a prăbușit în rîu. După aceasta, în toate armatele s-a introdus regula că la trecerea podurilor nu trebuie să se înainteze în pas cadențat. Dar numai după 30 de ani s-a petrecut un fapt similar. În Petersburg exista pe atunci un pod suspendat peste Fontanka, ce se numea podul egiptean. Peste el a trecut la un moment dat un escadron de cavalerie de gardă, ai cărui cai învățați cu defilările băteau din picioare într-un ritm care coincidea cu frecvența oscilațiilor podului, ceea ce a făcut ca lanțurile să se rupă, podul să se prăbușească în apă și să moară aproape 40 de oameni. Fenomenul de rezonanță a fost confirmat o dată în plus.

Importanța rezonanței. Cunoașterea fenomenului de rezonanță este foarte importantă pentru tehnică. Acest fenomen are atît o acțiune dăunătoare cît și folositoare.

Acțiunea dăunătoare a rezonanței se poate exemplifica prin fenomenele ce se petrec: — la instalarea unor mașini, acționate de forțe periodice, pe fundamente fără amortizare suficientă. În acest caz, dacă perioada oscilațiilor comunicate de mașină fundației clădirii coincide cu perioada proprie de oscilație a diferitelor părți ale clădirii, atunci, în urma unei funcționări îndelungate a mașinii pot apare oscilații de amplitudini mari, care pot duce la distrugerea parțială sau totală a clădirii.

Rezonanța joacă în tehnică și un rol folositor. Pe baza fenomenului de rezonanță funcționează o serie de aparate mecanice și electrice, ca, de exemplu, frecvențmetrul mecanic, care servește la determinarea frecvenței curentului alternativ.

Pe scară largă, fenomenul de rezonanță este folosit în radiotehnică.

Scanned with OKEN Scanner

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se numește mișcare ondulatorie?
2. Ce se numește undă?
3. De cîte feluri sînt undele elastice?
4. Ce se numește lungime de undă?
5. Ce se numește suprafață de undă? Dar rază?
6. Cum se enunță și se explică principiul lui Huygens?
7. Ce se numește difracție și cum se explică ea?
8. În ce constă fenomenul de reflexie a undelor?
9. Ce se numește interferență?
10. Ce sînt undele staționare și cum se formează?
11. În ce constă fenomenul de rezonanță?
12. Ce importanță practică prezintă fenomenul de rezonanță?

ACUSTICA

NOȚIUNI GENERALE

În înțelesul restrîns al cuvîntului, prin acustică se înțelege acea parte a fizicii care se ocupă cu studiul fenomenelor sonore. Astăzi, datorită aplicațiilor sale în tehnica modernă, domeniul de activitate al acusticii este foarte vast, ocupîndu-se nu numai cu studiul vibrațiilor care produc senzația de sunet, ci al tuturor vibrațiilor elastice. La rîndul ei, acustica actuală cuprinde mai multe ramuri, dintre care, în ultimul timp, s-au dezvoltat mai ales următoarele: electroacustica, acustica arhitecturală, locația acustică etc. Noi însă ne vom ocupa doar de cîteva probleme clasice din acustica fizică și vom studia cîteva aplicații moderne ale acusticii. Prin acustica fizică se înțelege ramura acusticii care studiază sunetul din punct de vedere fizic.

20. **Producerea și propagarea sunetului.** Din punct de vedere fizic, prin *sunet* înțelegem acele oscilații elastice care, propagîndu-se prin unde pînă la urechea noastră, produc senzația auditivă. Putem să producem un sunet făcînd să oscileze, printr-un mijloc oarecare, un corp elastic. De exemplu, să tragem cu arcușul pe coardele unei viori. Vedem coarda vibrînd în timp ce auzim un sunet. Dacă lovim ușor, un diapazon, de asemenea auzim un sunet. Apropiind de una din ramurile sale un pendul format dintr-o bilă mică

Scanned with OKEN Scanner

suspendată de un fir de aţă, vedem bila sărind în momentul cînd vine în contact cu diapazonul (fig. 30).

Să presărăm pe o placă de metal nisip fin şi să tragem apoi cu arcuşul pe marginea ei. Auzim un sunet şi vedem în acelaşi timp nisipul aruncat în sus aşezîndu-se după nişte figuri simetrice (fig. 31).

Dacă prin bobinele electromagnetului unui receptor telefonic trecem un curent alternativ, auzim de asemenea un sunet produs de oscilaţiile membranei telefonului.

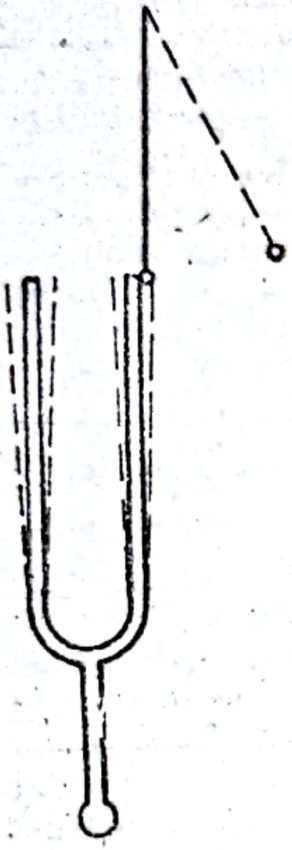


Fig. 30. Vibraţia diapazonului.

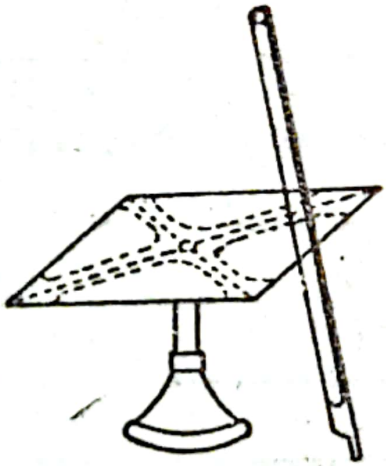


Fig. 31. Figurile formate din nisip pe placa ce vibrează sub acţiunea arcuşului.

Indiferent de mijloacele folosite pentru producerea vibraţiilor sonore, acestea se transmit mediului elastic înconjurător în care se propagă sub forme de *unde sonore*. În aer, ca şi în orice alt gaz (în general în fluide), vibraţiile sonore se propagă sub formă de *unde longitudinale*. În cazul că izvorul sonor este punctiform, iar mediul omogen şi izotrop, sunetul se propagă sub formă de unde sferice.

Sunetele se propagă numai în medii elastice. Sunetul nu se propagă în vid şi în corpurile lipsite de elasticitate şi nici în corpurile ce se află sub formă de pulbere, firişoare, fulgi. Astfel, vata, ştofele, nisipul, rumeguşul de lemn împiedică propagarea sunetului.

Scanned with OKEN Scanner

Următoarea experiență ne poate dovedi că sunetul nu se propagă în vid. Sub clopotul unei pompe de vid așezăm o sonerie care sună. Pe măsură ce scoatem aerul de sub clopot, sunetul se aude din ce în ce mai slab, pînă dispare.

21. **Viteza sunetului.** Experiențele au arătat că viteza de propagare a sunetului în diferite medii elastice nu este aceeași pentru toate mediile, ci ea depinde de o serie de factori ce caracterizează starea mediului respectiv, ca: starea de agregare (solidă, lichidă, gazoasă), densitatea, temperatura etc. și nu depinde de frecvență (pentru frecvențe nu prea înalte) sau de amplitudinea vibrațiilor sonore. Tabela de mai jos ne va ajuta să facem o comparație între vitezele sunetului în diferite medii:

Substanța	Temperatura	Viteza sunetului $\frac{m}{s}$
aer	0°C	331,8
aer	15°C	340
apă curată	15°C	1 440
apă de mare	15°C	1 503
fier (oțel)	—	5 000 — 5 720
lemn de brad uscat pentru viori	—	5 000 — 6 000

Din această tabelă se vede cum influențează densitatea și temperatura mediului elastic; de exemplu, în cazul aerului, viteza sunetului crește cu temperatura. Totodată, în cazul aerului, viteza sunetului mai este influențată și de starea de agitație a aerului (vînt), de umiditate și de starea de ionizare a aerului.

Măsurarea vitezei sunetului în aer se poate face prin diferite metode, dintre care o metodă foarte simplă, dar mai puțin precisă, se bazează pe fenomenul de *reflexie al sunetului*

Scanned with OKEN Scanner

(ecou), necesitînd doar un cronometru și un instrument de măsură a distanței (ruletă, lanț etc.).

Așezîndu-ne în fața unui obstacol de dimensiuni mari față de lungimea de undă a sunetului, de exemplu, în fața lizierei unei păduri și emițînd un sunet, notăm momentul cînd emitem sunetul și cînd auzim ecoul. Măsurăm apoi distanța s pînă la obstacol. Notăm cu v viteza sunetului și cu $t_2 - t_1$ intervalul de timp de la emiterea sunetului pînă ce auzim ecoul; ținînd seama că în acest interval de timp sunetul a străbătut distanța s dus-întors, scriem relația:

$$v = \frac{2s}{t_2 - t_1},$$

din care aflăm valoarea vitezei. Dacă cunoaștem frecvența ν a sunetului emis, din relația cunoscută $v = \lambda . \nu$, deducem valoarea lungimii de undă $\lambda = \frac{v}{\nu}$. În lichide, exceptînd apa, și solide, determinarea vitezei sunetului se face prin metode indirecte. Determinări recente au arătat că pentru frecvențe foarte mari viteza crește cu frecvența. De exemplu, pentru CO_2, viteza de propagare a vibrațiilor de peste 30 kHz crește cu 4%.

22. **Clasificarea sunetelor.** După senzația auditivă produsă, sunetele se pot clasifica în următoarele grupe:

1) *Sunetele muzicale*, produse de mișcări periodice. Sunetele muzicale sînt de două feluri:

— sunete muzicale simple, produse de vibrații sinusoidale (fig. 32, *a*),

— sunete muzicale compuse (fig. 32, *b*).

2) *Zgomotele* corespund unor mișcări neregulate. De exemplu,

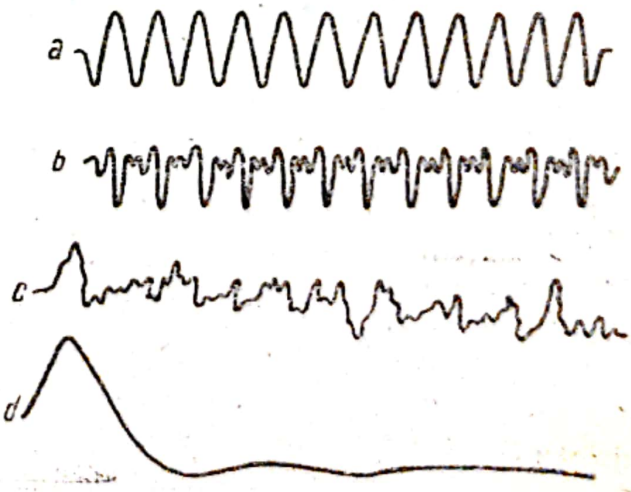


Fig. 32. Graficele diferitelor tipuri de sunete:
a — sunet muzical simplu; *b* — sunet muzical compus; *c* — zgomot; *d* — pocnet.

zgomotul unei păduri bătută de vînt, zgomotul străzii, zgomotul unui tren etc. (fig. 32, *c*). Cercetările au arătat că zgomotele au un efect dăunător asupra sănătății oamenilor atît în timpul odihnei cît și în timpul lucrului; de aceea și în țara noastră s-au luat măsuri de combatere a zgomotului, stabilindu-se atît regulamente de păstrare a liniștei, cît și prin folosirea, în construcția de clădiri, a materialelor absorbante. De asemenea, în întreprinderile unde se produc zgomote puternice sînt folosite aparate individuale de protecție.

3) *Pocnetele* sînt senzații produse asupra urechii de variații bruște ale densității aerului (fig. 32, *d*). De exemplu, pocnetul unei puști etc.

În figura 32 sînt reprezentate graficele diferitelor tipuri de sunete.

CALITĂȚILE SUNETULUI

23. **Înălțimea sunetului.** Sunetele pe care le produc diferite corpuri se deosebesc între ele prin proprietățile cunoscute sub numele de *calitățile sunetului*. Prin calitățile sunetului înțelegem: a) *înălțimea*; b) *intensitatea*; c) *timbrul*.

Înălțimea sunetului este însușirea lui de a fi mai grav (profund) sau mai înalt (acut). Această proprietate depinde de frecvența sunetului; cu cît frecvența este mai mare, cu atît sunetul este mai *înalt*; cu cît frecvența este mai mică, cu atît sunetul este mai grav (mai profund). Dintre două sunete muzicale, unul cu frecvența $\nu_1 = 535$ Hz și celălalt cu frecvența $\lambda_2 = 430$ Hz, primul sunet este mai înalt decît al doilea. Numeric, înălțimea unui sunet se exprimă prin frecvența vibrațiilor care îl produc.

24. **Intensitatea sunetului.** Dacă lovim un clopot cu un ciocan, se produce un sunet care se propagă în spațiul înconjurător și poate fi auzit de la o distanță oarecare. Lovindu-l mai tare, sunetul produs va fi mai puternic, sau, cu alte cuvinte, mai *intens*. Același fenomen poate fi observat și la un instrument muzical. Să suflăm ușor, spre exemplu, într-un fluier; el va produce un sunet de o anumită tărie. Suflînd mai tare, sunetul va fi mai puternic sau mai intens. Spațiul în care se propagă sunetul se numește *cîmp sonor*,

Scanned with OKEN Scanner

iar *cantitatea de energie sonoră care străbate în unitatea de timp prin unitatea de suprafață în jurul unui anumit punct al cîmpului, așezată perpendicular pe direcția de propagare a sunetului*, a căpătat numele de *intensitatea sunetului* în acel punct. Aceasta este intensitatea sunetului fizic sau intensitatea sonoră; intensitatea senzației depinde de intensitatea sonoră, însă nu este egală cu ea. Intensitatea este a doua calitate a sunetului și depinde de amplitudine. În cazul undelor plane și sinusoidale, intensitatea este direct proporțională cu pătratul amplitudinii. De asemenea s-a constatat că intensitatea depinde de frecvență. Pentru amplitudini egale, intensitatea sunetului crește proporțional cu pătratul frecvenței. Dacă sunetul se propagă sub formă de unde sferice, intensitatea scade cu depărtarea de izvorul sonor, din cauză că energia sonoră se răspîndește într-un volum din ce în ce mai mare. Scăderea intensității mai are loc și datorită absorbției sunetului de către mediul în care se propagă, atît la undele sferice cît și la cele plane.

Despre a treia caracteristică a sunetului, timbrul, vom vorbi ceva mai tîrziu.

Măsurarea intensității sonore. Notînd intensitatea sonoră cu I și ținînd seama de definiția dată mai înainte, putem scrie următoarea relație:

$$I = \frac{E}{S \cdot t}, \qquad (14)$$

unde E reprezintă energia sonoră, S suprafața și t timpul. Unitatea de măsură în sistemul internațional (S.I.) este $\frac{watt}{m^2}$. De obicei se folosește unitatea de intensitate $\frac{watt}{cm^2}$.

25. **Reflexia sunetului. Ecoul.** Dacă sunetul care se propagă de la un centru sonor, într-un mediu elastic, întîlnește în drumul său suprafața de separare a unui alt mediu elastic de densitate diferită, o parte a undei sonore se propagă mai departe cu schimbare de direcție, o parte se întoarce în primul mediu, adică se reflectă, iar alta este absorbită. Reflexia sunetului se supune legilor reflexiei undelor și se poate pune în evidență prin următoarea experiență extrem de simplă. Pe fundul unui cilindru de sticlă înalt așezăm

Scanned with OKEN Scanner

un ceas de buzunar (fig. 33), iar la gura cilindrului așezăm o placă de sticlă înclinată la 45° față de orizontală. Tic-tac-urile ceasornicului sînt reflectate după direcția $O'O$ și percepute de observatorul O. Dacă înlăturăm placa, tic-tac-urile nu se mai aud. Un exemplu simplu de reflexie a sunetului este *ecoul*.

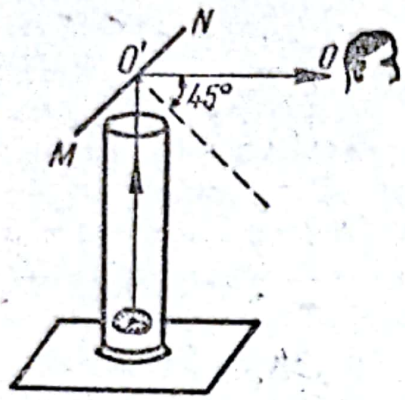


Fig. 33. Sunetul ceasornicului este reflectat de placa MN.

Ecoul este sunetul reflectat, perceput separat de sunetul incident.

Pentru a se putea produce ecoul este necesar ca suprafața reflectantă să se găsească la distanța minimă de 17 m de izvorul sonor. Această condiție se deduce din legea spațiului pentru mișcarea uniformă, $s = v \cdot t$. Cum viteza sunetului în aer este $v = 340$ m/s, iar urechea poate percepe două sunete care se succed ca sunete separate, dacă intervalul de timp dintre ele este mai mare de 0,1 s, înlocuind în formula de mai sus viteza și timpul, găsim: $s = 340$ m/s $\cdot$ $\cdot 0{,}1$ s $= 34$ m. Deci distanța parcursă de sunetul incident plus distanța parcursă de sunetul reflectat trebuie să fie minimum 34 m, pentru ca cle să poată fi auzite ca două sunete separate. Adică, distanța de la sursa sonoră pînă la suprafața reflectantă trebuie să fie de 17 m (se consideră că observatorul se află în același loc cu sursa).

Producerea ecoului sonor are numeroase aplicații. De exemplu, cu ajutorul ecoului se pot măsura adîncimile mărilor și oceanelor și se poate descoperi existența obstacolelor submarine (se folosesc de obicei ultrasunete).

Dacă distanța dintre centrul sonor — în apropierea căruia se presupune a fi observatorul — și suprafața reflectantă este sub valoarea limită, sunetul reflectat nu se mai percepe separat de sunetul incident, ci se suprapune peste acesta prelungindu-l. În acest caz avem fenomenul de *reverberație*, care poate fi atît dăunător, cît și folositor.

26. **Interferența undelor sonore.** Ca la orice fenomen ondulatoriu, în spațiul în care două unde sonore se supra-

pun are loc fenomenul de interferență. Putem demonstra experimental interferența sunetelor astfel: facem să sune un diapazon și totodată îl rotim în jurul axei sale (fig. 34,*a*). Vom auzi întăriri și slăbiri consecutive ale sunetului produs. Undele sonore care pleacă de la cele două ramuri, după diferite direcții, interacționează una cu alta. După direcțiile punctate din figura 34, undele sonore care vin de la

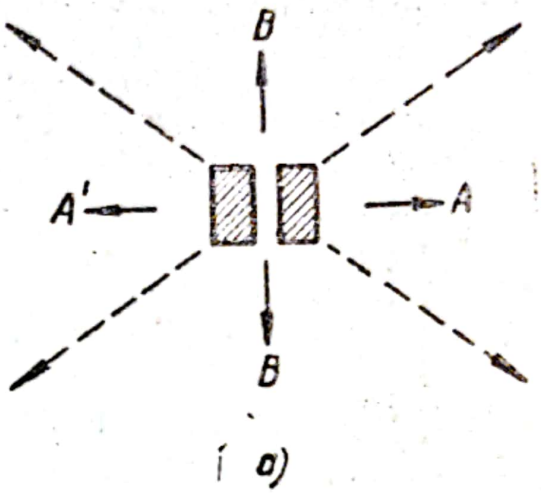


Fig. 34. Interferența sunetelor unui diapazon (*a*); fenomenul bătăilor (*b*).

ambele ramuri se slăbesc reciproc, pe cînd după direcția AA' nu are loc nici o interacțiune, deoarece fiecare ramură împiedică propagarea undelor sonore care vin de la cealaltă ramură. Oscilațiile care se propagă în direcția BB', nu vin de la ramurile diapazonului, ci de la masa de aer dintre ele. Din această cauză, în timpul rotației diapazonului în jurul axei ce trece prin piciorul său se aude un sunet de intensitate variabilă.

Întărirea și slăbirea sunetului de către sunet se numește interferența sunetelor. Alături de fenomenul de reflexie a sunetului, fenomenul de interferență prezintă o mare importanță în propagarea sunetului în încăperi închise. Am văzut la studiul reflexiei sunetului că, dacă distanța de la cel care vorbește la suprafața reflectantă este mai mică de 17 m, atunci sunetul reflectat se suprapune peste sunetul incident, prelungindu-l (fenomenul de reverberație). Se poate întîmpla ca această distanță să fie în așa fel încît sunetul reflectat să se suprapună peste sunetul incident următor și atunci nu se mai poate înțelege nimic din ceea ce se vorbește (efectul dăunător al reverberației). Dacă distanțele pînă la suprafețele reflectante sînt bine calculate, atunci prin suprapunerea sunetului reflectat peste cel incident are loc o întărire a sunetului incident (reverberație bună). Pentru a aprecia cantitativ fenomenul de reverberație s-a introdus noțiunea de *timp de reverberație*, definit astfel: *intervalul de timp*

necesar ca intensitatea unui sunet emis într-o încăpere să scadă la a milioana parte din valoarea sa inițială. Timpul de reverberație reprezintă deci intervalul de timp necesar pentru stingerea unui sunet într-o încăpere. Pentru o sală cu acustică bună, timpul de reverberație are o valoare optimă, iar pentru sălile cu acustică proastă, sau este prea mic (sală lipsită de sonoritate), sau este prea mare (sala răsună). La proiectarea sălilor de curs, a sălilor de concerte, a teatrelor, se ține foarte mult seama de reflexia sunetelor de către pereți și tavan și interferența lor cu sunetele incidente. În prezent a luat naștere o ramură tehnică numită „acustica arhitecturală", care se ocupă cu studiul propagării sunetului în încăperi închise.

Ca exemplu de sală modernă cu o bună acustică poate fi citată sala Palatului R.P.R. În această sală, reverberația naturală este înlăturată prin absorbția maximă a sunetului cu ajutorul unor panouri absorbante montate pe pereți și mascate cu un tapet de catifea. Prin mijloace electroacustice se realizează o reverberație artificială, care poate fi variată după necesități. Sunetul direct se aude, cu o claritate optimă, în orice punct al sălii, datorită unor difuzoare montate în spătarul fiecărui scaun. În același timp se realizează și reproducerea spațială a sunetului, adică stereofonia.

Datorită amplorii instalațiilor, precum și numeroaselor posibilități de utilizare ce le oferă, ca: sală de congrese, sală de conferințe, de operă, de concerte etc., sala Palatului R.P.R. constituie o dovadă a înaltului nivel științific și tehnic al electroacusticii noastre.

Pe lîngă fenomenul de reverberație, un alt caz de interferență, interesant prin aplicațiile sale, îl constituie *bătăile*, fenomen care constă în interferența a două unde de frecvență puțin diferite. Fie, spre exemplu, un sunet de frecvență $\nu_1 = 70$ Hz și un al doilea, de frecvență $\nu_2 = 60$ Hz, care se propagă simultan într-un mediu elastic, în aceeași direcție (fig. 34,*b*). Datorită interferenței lor vom auzi un sunet unic care prezintă maxime și minime de intensitate, numite *bătăi sonore*, frecvența lor fiind $\nu = \nu_1 - \nu_2$.

În exemplul de mai sus $\nu = 10$. Dacă $\nu_1 = \nu_2 = 0$ sunetele sînt la unison, deci bătăile dispar. Dacă ν_1 diferă mult de ν_2, frecvența bătăilor este mare. Acest fenomen este caracteristic unui mare număr de fenomene fizice.

27. **Unde staționare.** Un caz important de interferență a undelor sonore îl constituie *undele staționare*, produse, după cum am văzut, la studiul paragrafului respectiv, prin

Scanned with OKEN Scanner

interferența undelor incidente cu undele reflectate. În cazul sunetelor, undele staționare se formează prin interferența sunetului incident cu sunetul reflectat, producîndu-se noduri și ventre de sunet. Acest fenomen îl putem pune în evidență

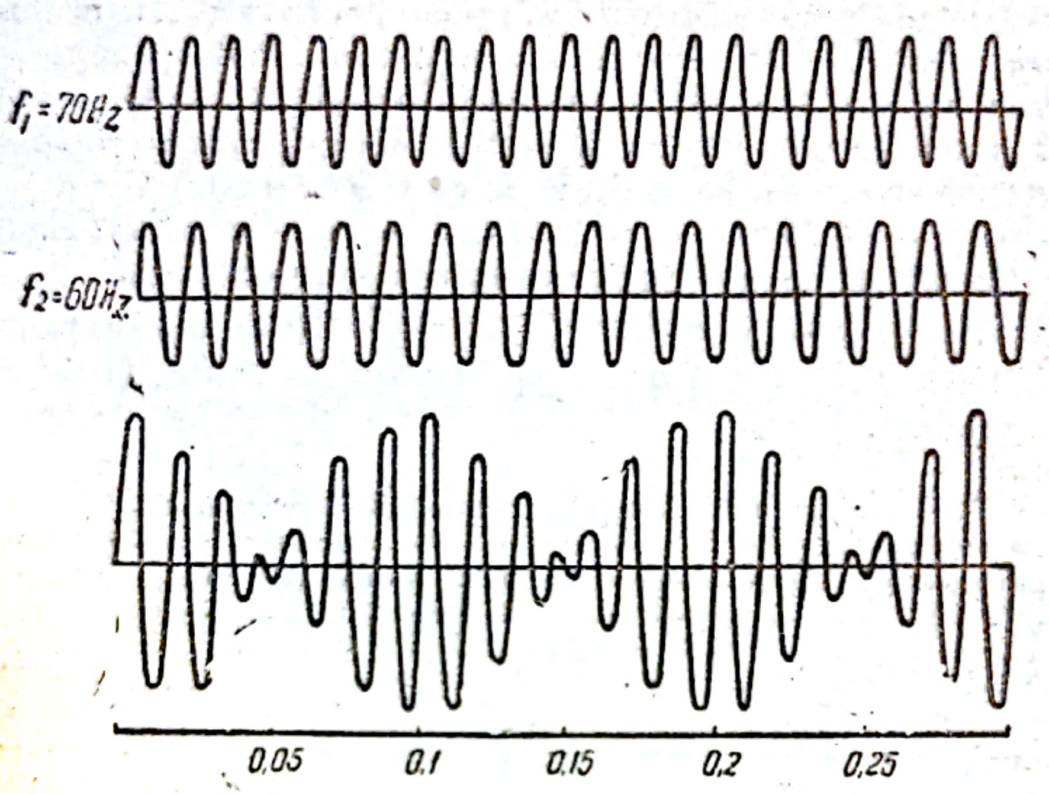


Fig. 34, *b*.

prin următoarea experiență: facem să vibreze un diapazon și în acest timp ne apropiem treptat de un perete; vom auzi clar întăriri și slăbiri ale sunetului. După cum știm, întăririle corespund ventrelor, iar slăbirile corespund nodurilor. Fenomenul nu se poate confunda cu bătăile, deoarece, în cazul undelor staționare, interferă două unde de frecvențe egale, care se propagă în aceeași direcție, dar în sensuri contrare.

Ventrele și nodurile undelor staționare pot fi făcute vizibile cu ajutorul tubului lui Kundt, care permite și deter-

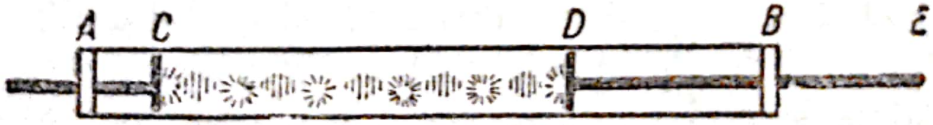


Fig. 35. Tubul Kundt.

minarea vitezei de propagare a sunetului în gazul din tub, sau în substanța din care este făcută vergeaua. Tubul Kundt este un tub de sticlă AB, închis la ambele capete (fig. 35).

Scanned with OKEN Scanner

Prin capătul A pătrunde un piston mobil C, cu ajutorul căruia putem varia lungimea porțiunii CD, pînă se obțin în tub unde staționare. Porțiunea CD formează o cameră închisă. Prin capătul B pătrunde vergeaua E, fixată în B la jumătatea ei. Vergeaua se termină, în interiorul tubului, prin discul D care are un diametru mai mic decît al tubului. În camera CD se află o pulbere fină. Dacă frecăm vergeaua în lungul ei, ea începe să vibreze longitudinal, emițînd un sunet care se propagă de la D către C. Întîlnind suprafața pistonului C, sunetul se reflectă de la C către D. Sunetul reflectat și sunetul incident interferă dînd naștere undelor staționare, puse în evidență prin modul de așezare al pulberii fine din tub; aceasta este spulberată la ventre și se adună la noduri.

Dacă dorim să măsurăm viteza sunetului în vergea, sau în gazul din tub, este necesar să cunoaștem una dintre aceste viteze. Să ne propunem, spre exemplu, să măsurăm viteza sunetului în gazul din tub (de obicei aer). În acest caz trebuie să cunoaștem viteza sunetului în vergea; fie v, viteza sunetului în gazul din tub și v' viteza sunetului în vergea, iar λ lungimea de undă a sunetului în gazul (aerul) din tub și λ' lungimea de undă a sunetului în vergea. Măsurînd lungimea $l' = \frac{\lambda'}{2}$ a vergelei și distanța $l = \frac{\lambda}{2}$ dintre două noduri succesive, putem scrie:

$$\frac{l}{l'} = \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{v}{v'}.$$

Cu ajutorul acestei relații putem determina atît viteza sunetului în gazul din tub cît și lungimea de undă.

În corpurile elastice sînt posibile două cazuri de producere a undelor staționare:

a) cînd ambele extremități ale corpului sînt fixe sau libere;

b) cînd o extremitate este fixă și cealaltă liberă.

În primul caz, la ambele extremități se formează în același timp două noduri sau două ventre, deci de-a lungul corpului se stabilește un număr întreg de $\frac{\lambda}{2}$ (cazul tubului Kundt), adică un număr par de $\frac{\lambda}{4}$. În cazul al doilea, la extremi-

Scanned with OKEN Scanner

tatea fixă apare un nod, iar la cea liberă se formează un ventru, astfel că de-a lungul corpului se stabilește un număr impar de $\frac{\lambda}{4}$. Undele staționare, o dată produse, rămîn în corp mult timp, chiar după înlăturarea cauzei care le-a generat și se amortizează treptat.

Celelalte vibrații, care nu corespund condițiilor de mai sus, se sting repede prin interferență. Vibrațiile prin care se stabilesc în corpul care vibrează unde staționare ce cuprind un număr întreg de $\frac{\lambda}{4}$ se numesc *vibrații proprii* ale corpului. Un corp sonor poate avea mai multe vibrații proprii.

28. **Sunetul fundamental. Armonice.** Vibrațiile proprii ale unui corp sonor pot fi: unele de frecvență mai joasă, altele de frecvență mai mare.

Sunetul propriu al unui corp de cea mai joasă frecvență se numește sunet fundamental. Cînd corpul emite sunetul său fundamental, se formează cel mai mic număr de noduri. De exemplu, dacă fixăm extremitățile unei coarde bine întinse și tragem ușor cu arcușul la jumătatea ei, coarda începe să vibreze formîndu-se un ventru în locul unde am tras cu arcușul și două noduri la capete (fig. 36, *a*). Sunetul produs în aceste condiții este sunetul fundamental, a cărui lungime de undă λ sau frecvență ν se deduce din relația:

$$L = \frac{\lambda}{4} = \frac{v \cdot T}{2} = \frac{v}{2\nu},$$

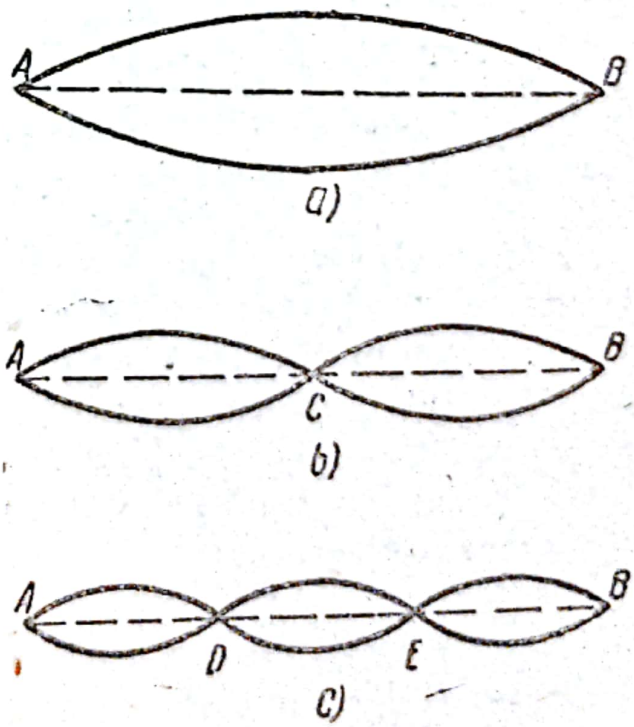


Fig. 36. Vibrații proprii ale unei coarde:
a — sunet fundamental; *b* și *c* — armonice superioare.

unde am notat:

L — lungimea coardei, care cuprinde o jumătate de lungime de undă staţionară $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$;

v — viteza sunetului în coardă;

ν — frecvenţa.

Dacă la jumătatea coardei (în C, fig. 36, *b*) punem un căluş şi tragem cu arcuşul pe una din jumătăţi, obţinem trei noduri şi două ventre. În acest caz, coarda emite octava superioară a notei precedente, cu un număr dublu de vibraţii. Mutînd căluşul în D, la $\frac{1}{3}$ din lungimea coardei, obţinem un sunet cu un număr de vibraţii de trei ori mai mare faţă de sunetul fundamental (fig. 36, *c*) ş.a.m.d.

Sunetele a căror frecvenţă este un multiplu întreg al frecvenţei sunetului fundamental se numesc armonice. Frecvenţa lor se află înmulţind frecvenţa fundamentală cu numerele întregi 2, 3, 4, ...

De exemplu: fie sunetul fundamental nota Do_3 cu frecvenţa $\nu = 261$ Hz. Armonicele sale sînt:

Do_4, octava lui Do_3 cu 261 Hz $\times$ 2 = 522 Hz;

Sol_4, cu 261 Hz $\times$ 3 = 783 Hz;

Do_5, cu 261 Hz $\times$ 4 = 1044 Hz etc.

După cum vedem, prima armonică este octava superioară a sunetului fundamental.

Armonicele pot fi emise de corpul sonor în acelaşi timp cu sunetul fundamental, însoţindu-l şi fiind într-un acord plăcut urechii (consonanţă).

29. **Timbrul.** Facem ca două instrumente muzicale, de exemplu, un flaut şi o vioară să emită acelaşi sunet (aceeaşi notă). Constatăm că deşi sunetele au aceeaşi înălţime şi intensitate, totuşi se deosebesc calitativ între ele prin modul cum impresionează urechea. Această deosebire calitativă a sunetelor de înălţimi şi intensităţi egale, dar emise de instrumente deosebite se numeşte *timbrul sunetului* şi constituie cea de-a treia caracteristică a sunetului.

Am văzut mai sus că o dată cu sunetul fundamental, corpul sonor emite şi armonicele sale superioare care însoţesc

Scanned with OKEN Scanner

sunetul fundamental, cu care sînt într-un acord consonant. Experiențele au arătat că *timbrul unui sunet depinde de numărul, înălțimea și intensitatea armonicelor sale superioare.*

REZONANȚA

30. **Rezonanța sonoră. Rezonatori.** Să realizăm dispozitivul experimental din figura 37. Dacă apropiem de extremitatea superioară a tubului *A* un diapazon *D* care vibrează și variem nivelul apei din tub, ridicînd sau coborînd vasul *B*, auzim cum sunetul emis de diapazon se întărește, devenind la un moment dat foarte puternic, apoi slăbește. Întărirea sunetului dat de diapazon se numește rezonanță sonoră.

Sub acțiunea vibrațiilor sonore ale diapazonului apar vibrații ale coloanei de aer din tub. Cînd frecvența proprie a acestor vibrații ajunge să coincidă cu frecvența proprie a vibrațiilor diapazonului, amplitudinea oscilațiilor coloanei de aer crește pînă la valoarea maximă; sunetul emis de tub, suprapunîndu-se peste sunetul dat de diapazon, îl întărește. În acest caz avem rezonanța coloanei de aer din tub sub acțiunea sunetului dat de diapazon. Dacă în locul dispozitivului experimental de mai sus, folosim două diapazoane de frecvențe egale și facem pe unul din ele să vibreze, observăm că sub acțiunea vibrațiilor acestui diapazon începe

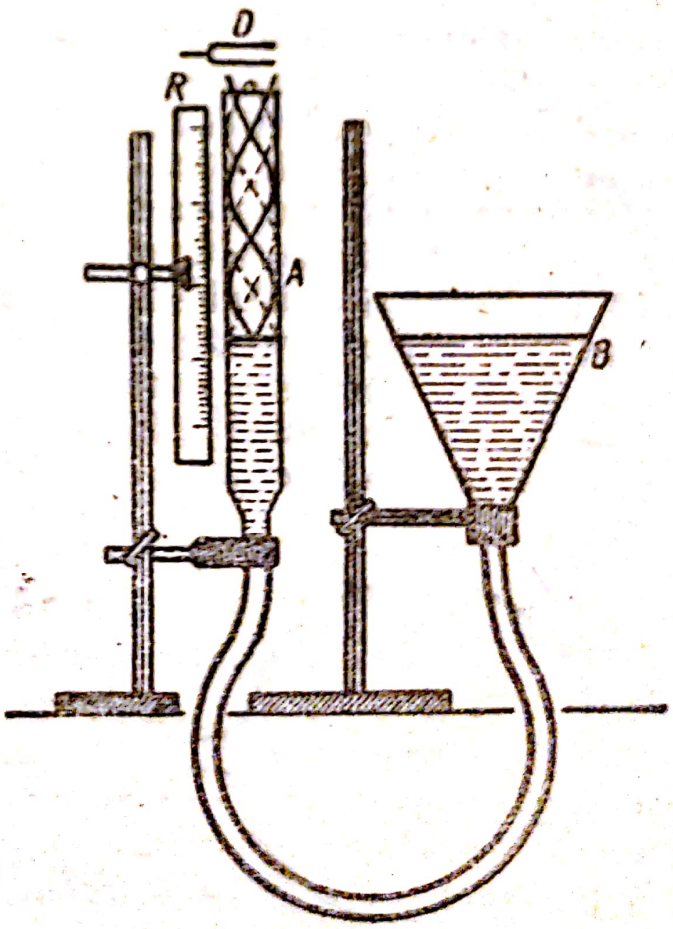


Fig. 37. Rezonanța unei coloane de aer într-un tub, sub acțiunea unui diapazon în oscilație.

să vibreze și celălalt. Acest lucru îl constatăm dacă oprim după cîtva timp diapazonul pe care îl făcusem să sune la început.

Rezonatorii acustici. *Înțelegem prin rezonatori acustici dispozitivele ce produc fenomenul de rezonanță sonoră.*

În cazul primei experiențe descrise mai sus, tubul de sticlă, pînă la nivelul apei, are rolul de *rezonator*, iar diapazonul are rolul de *excitator*.

După cum știm, diapazonul dă un sunet pe care urechea abia îl percepe. Dacă fixăm însă piciorul diapazonului într-o cutie de formă paralelipipedică, avînd anumite dimensiuni, sunetul dat de diapazon este întărit și poate fi auzit de la distanță. Această cutie este un rezonator și se numește cutie de rezonanță. Experiențele au arătat că rezonatorul trebuie să aibă anumite dimensiuni pentru a întări la maximum un sunet, fapt de altfel constatat în experiența descrisă mai sus. De aici tragem concluzia că: *un rezonator intră în vibrație numai pentru un anumit sunet*. Această proprietate face ca rezonatorii să fie folosiți la analiza diferitelor sunete. Aproape toate instrumentele muzicale (vioara, mandolina etc.) au rezonatori. Cavitatea bucală este un veritabil rezonator care, prin proprietatea de a se strînge sau lărgi, întărește mai multe sunete. După cum s-a spus mai înainte, rezonatorii sînt utilizați și la analiza unor sunete compuse. Primul care a folosit această metodă a fost fizicianul german Helmholtz. El a folosit un ansamblu de sfere metalice goale, ale căror frecvențe proprii variau de la cele mai joase pînă la cele mai înalte frecvențe sonore. Astfel de sfere au căpătat numele de *rezonatori Helmholtz*. Rezonatorul Helmholtz este o sferă metalică, sau chiar de sticlă prevăzută cu două deschideri (fig. 38) diametral opuse: una cu un diametru mare avînd rolul de a capta sunetele, iar a doua deschidere avînd forma conică, construită astfel încît

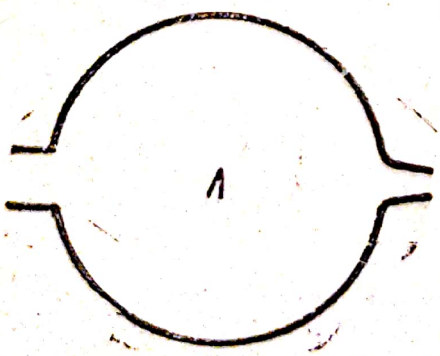


Fig. 38. Secțiune printr-un rezonator Helmholtz.

să se poată introduce în ureche. Astăzi, pentru analiza sunetelor compuse se folosesc analizori moderni cu oscilograf catodic.

De remarcat că un rezonator care întăreşte sunetul pentru care este calculat, îl poate absorbi dacă deschiderea lui este astupată cu o ţesătură rară, astfel încît sunetul intră în rezonator, dar nu mai poate ieşi din el. Această proprietate a rezonatorilor este folosită în acustica arhitecturală.

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 2

Determinarea lungimii de undă a sunetului prin metoda rezonanţei

Aparate necesare: dispozitivul experimental din figura 37 cu riglă gradată şi diapazon.

Mersul lucrării: 1. Ridicăm vasul B cît mai sus şi apropiem de deschiderea tubului A un diapazon care vibrează. Potrivim apoi nivelul apei din tub, prin mişcarea vasului B, pînă ce coloana de aer din tubul A intră în rezonanţă cu diapazonul.

2. Măsurăm, cu ajutorul riglei, lungimea L_1 a coloanei de aer care a intrat în rezonanţă.

3. Lăsăm în jos vasul B pînă obţinem rezonanţa a doua şi măsurăm din nou lungimea L_2 a coloanei de aer. Experienţele arată că rezonanţa apare cînd lungimea L a coloanei de aer este aproximativ egală cu un număr impar de $\frac{\lambda}{4}$ (λ este lungimea de undă a sunetului în aer), adică atunci cînd în coloana de aer se formează unde staţionare (v. fig. 37). Între două întăriri succesive ale sunetului, coloana de apă s-a deplasat cu $\frac{\lambda}{2}$, aşa că diferenţa $L_2 - L_1 = \frac{\lambda}{2}$, de unde deducem pe λ.

4. Repetăm experienţa de mai multe ori şi rezultatele le trecem într-o tabelă de forma următoare:

Nr. exp.	L_1 cm	L_2 cm	$L_2 - L_1$ cm	λ cm	λ mediu

Observaţie. Dacă avem rezonatori de frecvenţe cunoscute, putem efectua experienţa şi cu ajutorul lor, făcînd în acest caz şi analiza unui sunet compus.

Scanned with OKEN Scanner

ÎNREGISTRAREA ŞI REPRODUCEREA SUNETELOR

Una din problemele importante pe care acustica aplicată a reuşit să le rezolve, cu ajutorul tehnicii, este problema înregistrării şi reproducerii sunetelor.

Posibilitatea înregistrării şi reproducerii sunetelor permite să se păstreze nealterate şi să se poată reproduce oricînd producţii folclorice, producţii muzicale executate de mari artişti; se pot fixa particularităţile lingvistice din anumite regiuni şi perioade de timp, ceea ce este important din punct de vedere filologic şi fonetic etc.

Posibilitatea înregistrării şi reproducerii sunetelor prezintă o mare importanţă şi din punct de vedere didactic, în special, la studiul limbilor străine pentru însuşirea pronunţării corecte etc. Se cunosc diferite metode de înregistrare a sunetelor: mecanice, electromecanice, magnetice, pe cale optică etc. Una din metodele moderne de înregistrare a sunetelor este metoda magnetică, care nu prezintă dificultăţile de imprimare a discurilor, imprimarea făcîndu-se direct. De asemenea se pot imprima lucrări muzicale, ştiinţifice etc.

31. **Magnetofonul.** Metoda magnetică de înregistrare a sunetelor se bazează pe următorul principiu: Dacă prin faţa polului unui electromagnet, prin bobina căruia circulă un curent variabil (de exemplu, curentul microfonic), se deplasează cu viteză constantă o bandă de oţel (numită purtător de sunet), aceasta va căpăta o magnetizare remanentă variabilă de-a lungul ei, în funcţie de curentul care a străbătut bobina electromagnetului la momentul respectiv. Trecînd banda astfel magnetizată prin faţa altui electromagnet, cu aceeaşi viteză, se va induce în bobina acestui electromagnet un curent variabil, corespunzător magnetizării benzii. Acest curent, amplificat şi transmis unui difuzor, se va transforma în sunet, astfel că acelaşi aparat poate face înregistrarea şi reproducerea sunetului. Figura 39 reprezintă

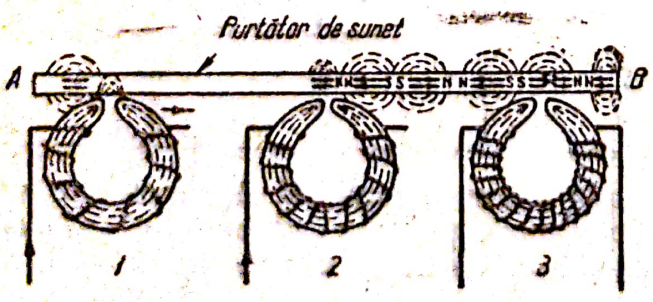


Fig. 39. Principiul înregistrării magnetice.

Scanned with OKEN Scanner

schema unui dispozitiv de imprimare pe o bandă de oțel. Banda de oțel *AB* se deplasează cu viteză constantă prin fața electromagneților *1*, *2*, *3* desfășurîndu-se de pe un tambur și înfășurîndu-se pe altul (în figură nu se văd). Prin electromagnetul *1* circulă un curent continuu care șterge imprimarea anterioară, dacă a fost, magnetizînd banda uniform. În electromagnetul *2* circulă curenții microfonici care imprimă sunetul pe bandă, iar în electromagnetul *3*, banda induce curenții variabili care, amplificați și trimiși în difuzor, sînt transformați în sunete. După rolul pe care îl au, cei trei electromagneți se numesc: cap de ștergere *(1)*, cap de înregistrare *(2)*, cap de reproducere *(3)*. Funcțiunea lor nu are loc în același timp. La înregistrare funcționează simultan capul de ștergere cu cel de înregistrare, iar la reproducere funcționează numai capul de reproducere.

Dacă banda are lungimea necesară, pe ea se pot înregistra bucăți de mărimi considerabile, ceea ce reprezintă un avantaj față de disc. În plus, banda nu este sensibilă la zguduiri, așa cum este discul. Datorită acestei proprietăți, banda este foarte potrivită la înregistrările din avion, din tren etc. O altă calitate pe care o reprezintă înregistrarea magnetică este că, imediat după înregistrare, se poate face și reproducerea sunetului, banda neavînd nevoie de nici o prelucrare. Înregistrarea pe banda de oțel prezintă însă și unele dezavantaje, ca: greutate mare în cazul unei benzi lungi, imposibilitatea de a tăia după dorință anumite porțiuni rău imprimate sau care nu mai sînt necesare. Aceste defecte au fost remediate prin înlocuirea benzii de oțel cu o bandă constituită din masă plastică (de exemplu, acetilceluloza), acoperită cu un strat fin metalic, care se poate magnetiza ca și banda de oțel și care prezintă și calități în plus față de ea. Aparatul astfel constituit a căpătat numele de *magnetofon* (fig. 40) și a început să fie folosit pe scară mare datorită calităților sale. Iată cîteva din ele:

— calitatea superioară a înregistrării din punct de vedere al fidelității și înlăturării zgomotului de fond;

— durata mare a unei înregistrări continue (pînă la cîteva ore);

— deservirea simplă a magnetofoanelor și siguranța în exploatarea lor;

— posibilitatea de a tăia și de a îmbina banda fără a influența calitatea înregistrării;

Scanned with OKEN Scanner

— redarea imediată a înregistrării, fără nici o prelucrare, ceea ce permite controlul calității chiar în timpul înregistrării;

— înregistrarea făcută se poate șterge, după care, aceeași bandă poate fi folosită pentru o nouă înregistrare;

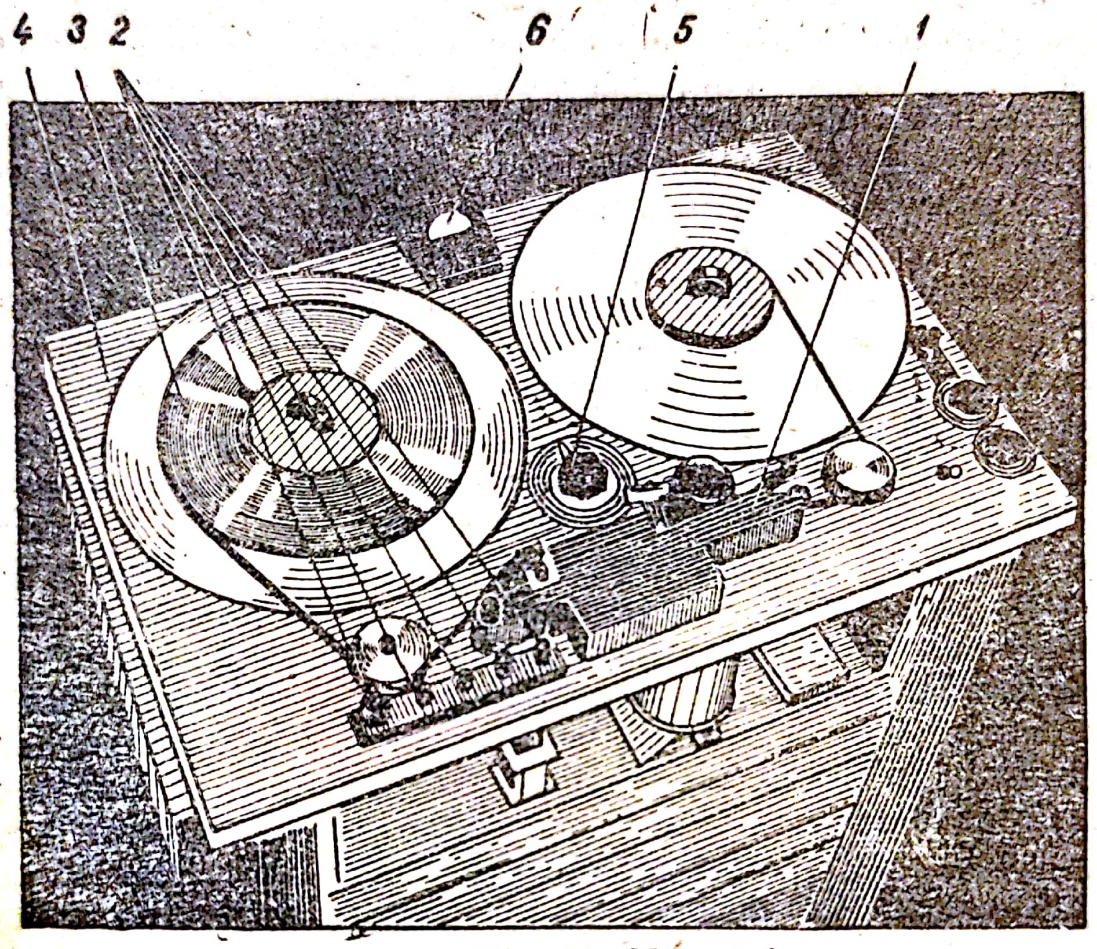


Fig. 40. Magnetofon:
1 — bloc de capete; *2* — butoane de comandă; *3* — rulou cu bandă; *4* — platou; *5* — indicator al timpului de înregistrare; *6* — indicator de nivel.

— calitatea înregistrării se păstrează la un mare număr de reproduceri, fiind limitată numai de durabilitatea mecanică a benzii, ceea ce nu se întîmplă în cazul discului;

— aparatele folosite pentru înregistrare și reproducere sînt ușor transportabile și au un cost relativ redus.

Totuși, înregistrarea magnetică prezintă și unele dezavantaje, ca:

— multiplicarea înregistrării făcută pe bandă este mai grea decît a înregistrării făcută pe disc;

— banda își modifică dimensiunile sub acțiunea umezelii și a temperaturii, ceea ce provoacă deformări ale sunetului etc.

Scanned with OKEN Scanner

ULTRASUNETELE

Ultrasunetele sînt vibraţii elastice a căror frecvenţă este mai mare de $2 \cdot 10^4$ Hz (limita superioară de audibilitate). Ele cuprind un domeniu foarte întins de frecvenţe, de la cea mai joasă —$2 \cdot 10^4$ Hz — pînă la frecvenţe de ordinul 10^4 MHz. Acest domeniu, limitat încă din cauza mijloacelor tehnice de care dispunem, se măreşte pe măsură ce noile cuceriri ale ştiinţei şi tehnicii permit generarea de ultrasunete cu frecvenţe tot mai mari. Din cauza frecvenţei lor mari, în afară de proprietăţile pe care le au şi sunetele (reflexia, interferenţa etc.), dintre care unele se manifestă însă mai accentuat, ultrasunetele mai au şi proprietăţi specifice. Spre deosebire de sunete, a căror energie de vibraţie este foarte mică, ultrasunetele pot fi emise sub forma de unde dirijate, cu energii de vibraţie foarte mari. Datorită acestor proprietăţi, ultrasunetele au foarte multe aplicaţii practice.

Producerea ultrasunetelor. Ultrasunetele pot fi produse prin diferite mijloace, unele similare celor folosite pentru producerea sunetelor (mijloace mecanice), altele deosebite, specifice ultrasunetelor (mijloace electromecanice). Emiţătoarele mecanice, deşi sînt simple şi sigure, nu pot genera decît ultrasunete cu frecvenţa pînă la cîteva zeci de mii de herţi. De aceea, în aplicaţiile practice ale ultrasunetelor se folosesc generatoarele electromecanice, care produc ultrasunete prin transformarea curentului alternativ în oscilaţii elastice ale unor corpuri (corpuri feromagnetice, cuarţ etc.).

Deşi sînt mai scumpe decît generatoarele mecanice, ele prezintă anumite avantaje, pentru care sînt preferate acestora. De exemplu: pot produce ultrasunete cu frecvenţe superioare celor produse prin mijloace mecanice; sînt mai sigure în exploatare şi se pot construi la dimensiuni foarte mici. Dintre generatoarele electromecanice vom studia pe cel mai important, şi anume generatorul piezoelectric.

Generatorul piezoelectric foloseşte pentru producerea ultrasunetelor efectul piezoelectric invers, descoperit în 1881 de fraţii Pierre şi Jacques Curie. Efectul piezoelectric invers constă în deformările mecanice ale unor cristale (cum este cuarţul) sub acţiunea unui cîmp electric alternativ. Dacă aplicăm unei plăci tăiate dintr-un cristal de cuarţ într-un anumit fel, o tensiune electrică alternativă, placa începe să vibreze. Aceste vibraţii devin deosebit de

Scanned with OKEN Scanner

intense atunci cînd se realizează rezonanța între vibrațiile proprii ale plăcii și frecvența tensiunii electrice aplicate. Figura 41 reprezintă schema unui generator piezoelectric de ultrasunete. Din figură se vede că acest generator se compune dintr-o placă Q de cuarț piezoelectric și un generator de curenți de înaltă frecvență (de obicei un tub electronic G, care alimentează circuitul oscilant LCv).

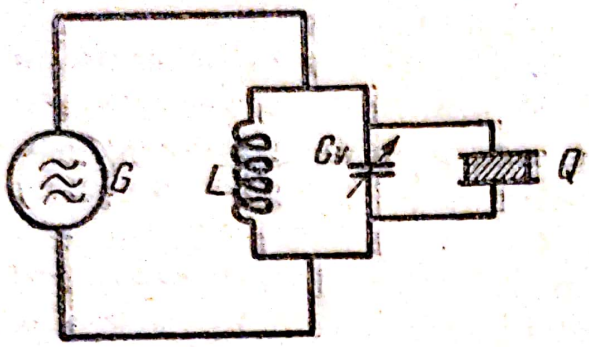


Fig. 41. Generatorul piezoelectric (schemă).

32. **Proprietățile ultrasunetelor.** Așa cum s-a arătat la început, ultrasunetele au o serie de proprietăți specifice, prin care se deosebesc de sunete și datorită cărora pot să fie folosite în diferite domenii. Aceste proprietăți decurg din frecvența foarte mare, care le asigură o serie de avantaje:

— posibilitatea de a obține energii de vibrație considerabile, care nu se pot obține în cadrul sunetelor;
— posibilitatea de a emite și recepționa „raze" ultrasonore dirijate;
— inaudibilitatea.

De aici ne dăm seama de diversitatea și importanța aplicațiilor lor. Datorită frecvenței foarte ridicate și energiei mari, ultrasunetele produc o mulțime de efecte fizico-chimice printre care:

— e f e c t e f i z i c e : pot determina cristalizarea soluțiilor suprasaturate, formarea de sisteme disperse (suspensii, emulsii, soluții coloidale), sau distrugerea unor astfel de sisteme; modifică densitatea și indicele de refracție al mediului în care se propagă; încălzesc mediul în care se propagă etc.;
— e f e c t e e l e c t r o c h i m i c e: influențează pasivitatea metalelor etc.;
— e f e c t e c h i m i c e: declanșează anumite reacții chimice, fac să explodeze substanțe puțin stabile (de exemplu, iodura de azot), accelerează reacțiile chimice etc.;

Scanned with OKEN Scanner

— efecte biologice: provoacă (după durata și intensitatea ultrasonării) perturbări sau chiar distrugeri ale celulelor și țesuturilor datorită puternicelor excitări ale protoplasmei, cît și efectelor termice care le însoțesc.

Aplicațiile ultrasunetelor. Pe baza proprietăților amintite mai sus, ultrasunetele au diferite aplicații practice. În cele ce urmează vom cunoaște cîteva dintre cele mai importante. Una dintre aceste aplicații este producerea de sisteme disperse. Știm că unele lichide în contact, ca, spre exemplu, apa și uleiul, sau apa și mercurul, sînt practic nemiscibile. Dacă supunem aceste lichide, aflate în același vas, ultrasonării, se obțin emulsii stabile sau chiar autentice soluții coloidale. Aceasta prezintă o foarte mare importanță, atît pentru chimia coloidală pură și aplicațiile ei în cercetările biologice, în prepararea medicamentelor etc. cît și pentru unele aplicații tehnice, ca: mărirea suprafeței active a catalizatorilor tehnici, prin ultrasonare în timpul preparării lor; îmbunătățirea emulsiilor fotografice, obținîndu-se filme fotografice cu o granulație fină și cu o mare sensibilitate; producerea aliajelor metalice omogene prin ultrasonarea lor în stare topită. Pe lîngă efectul dispersiv, ultrasunetele pot produce și efectul invers, de distrugere a sistemelor disperse, cînd mediul de dispersie este un gaz. Acest fenomen are ca aplicații tehnice: purificarea unui gaz de particule solide sau lichide fin dispersate în el, sau degazarea metalelor topite.

Prelucrarea metalelor cu ultrasunete. Ultrasunetele se utilizează de asemenea și la prelucrarea metalelor (găurire, tăiere etc.). În cazul găuririi unui metal cu ultrasunete, oscilațiile vibratorului sînt transmise unui lichid, prin intermediul unei scule solidare cu vibratorul. Lichidul este introdus sub suprafața frontală a sculei (fig. 42, *a*). Sub acțiunea ultrasunetului, particulele de lichid

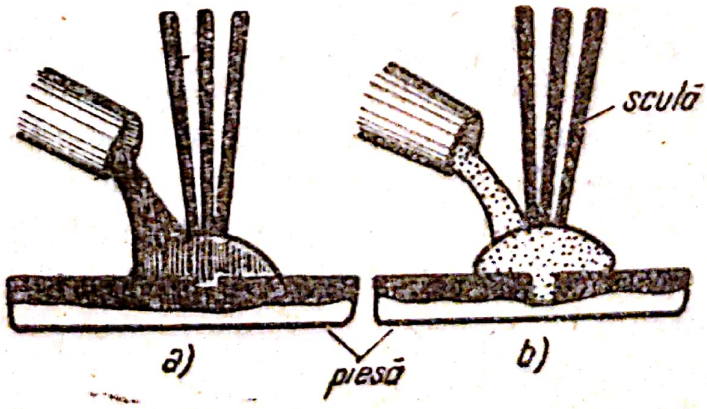


Fig. 42. Prelucrarea cu ultrasunete:
a — cu apă fără abraziv;
b — cu suspensie de abraziv în apă.

Scanned with OKEN Scanner

capătă accelerații foarte mari, de cîteva mii de ori mai mari decît accelerația gravitațională.

Adăugînd acestui lichid o pulbere abrazivă (fig. 42,*b*), particulele ei vor lovi metalul cu forțe ce depășesc de cîteva mii de ori greutatea lor proprie. Eficacitatea metodei poate fi ușor apreciată, dacă se ține seama de numărul mare de particule abrazive care efectuează, fiecare, circa 20 000 loviturі pe secundă. Ca material abraziv se folosește de obicei carbură de bor, sau un alt material a cărui duritate trebuie să fie cel puțin egală cu a materialului de prelucrat.

O largă întrebuințare o are prelucrarea prin ultrasunete în confecționarea sculelor din aliaje foarte dure sau din ceramică, a matrițelor și filierelor din aliaje dure sau pietre prețioase, la găurirea rubinelor, safirelor și agatelor care se folosesc în lagăre de ceasornice.

L i p i r e a a l u m i n i u l u i. Piesele de aluminiu nu pot fi lipite cu cositor, deoarece cositorul, în mod obișnuit, nu aderă la aluminiu, acesta fiind acoperit cu o peliculă stabilă de oxid, care nu se poate îndepărta prin mijloace decapante obișnuite. Lipirea aluminiului cu cositor se poate face însă dacă vîrful ciocanului de lipit vibrează cu o frecvență ultrasonoră, care are ca efect distrugerea peliculei de oxid, permițînd astfel aderarea cositorului la aluminiu. Metoda a fost extinsă și la îmbinarea firelor și foilor de mase plastice.

D e f e c t o s c o p i a u l t r a s o n o r ă. Ultrasunetele sînt utilizate și pentru controlul defectelor din interiorul pieselor metalice și betoanelor, fără a distruge piesa respectivă. Un astfel de control se poate face și cu ajutorul razelor X, dar numai pînă la adîncimi de cel mult 2 cm, deoarece razele X sînt puternic absorbite de metale. Cu ajutorul ultrasunetelor însă, controlul pieselor se poate face la adîncimi mai mari de 10 m. Controlul defectelor pieselor cu ajutorul ultrasunetelor se numește d e f e c t o s c o p i e u l t r a s o n o r ă. Astăzi se folosesc, în defectoscopia ultrasonoră, două metode: metoda transparenței și metoda reflexiei (cu semnale — ecouri). Ca să controlăm o piesă prin prima metodă, procedăm în modul următor: presupunînd că piesa de controlat este de forma unei bare (fig. 43, *A*), plimbăm pe una din fețe

emiţătorul, iar de cealaltă parte, exact în dreptul emiţătorului, receptorul. În cazul unui defect (fig. 43, *B*), amplitudinea semnalului recepţionat scade brusc, din cauza reflexiei undelor ultrasonore care întîlnesc defectul. Acest defect constituie, pentru ultrasunete, un ecran.

A doua metodă se bazează pe fenomenul de reflexie a ultrasunetelor şi este mai bună decît prima metodă. În acest caz, pe aceeaşi faţă a piesei de controlat se aplică şi emiţătorul şi receptorul care înregistrează undele reflectate. Dacă în drumul ultrasunetelor incidente, emise sub

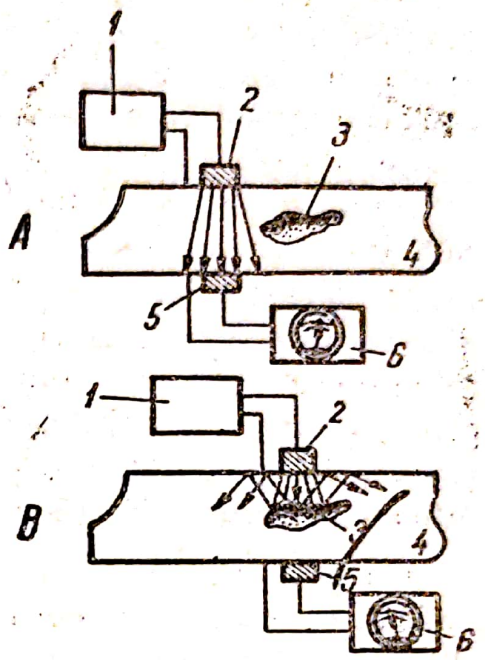


Fig. 43. Detectarea unui defect cu ajutorul ultrasunetelor, prin metoda transparenţei.

formă de impulsuri, există vreun defect, la receptor ajung mai întîi undele reflectate de defect şi apoi undele reflectate de cealaltă faţă a piesei. În figura 44 se vede cum se înregistrează defectul unei piese cu ajutorul defectoscopului.

În încheiere este necesar să menţionăm că folosirea în practică a ultrasunetelor nu este epuizată cu cele cîteva exemple de mai sus. Ultrasunetele sînt folosite astăzi, în locul sunetelor, la măsurarea adîncimilor mărilor. (Primele măsurători precise au fost efectuate în 1918 de savantul francez P. Langevin, pentru detectarea submarinelor sau obstacolelor submarine etc.). De asemenea, ultrasunetele sînt folosite în cercetări biologice, datorită capacităţii lor de a distruge ţesuturile, iar în medi-

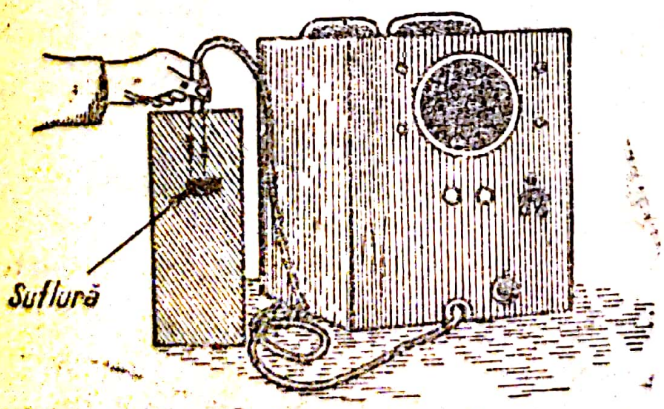


Fig. 44. Detectarea unui defect cu defectoscopul ultrasonor, prin metoda reflexiei.

cină această proprietate este aplicată în operații chirurgicale sub forma „bisturiului ultrasonic". Tot în medicină ultrasunetele sînt folosite pentru detectarea tumorilor canceroase, pentru studierea sistemului nervos central și ca mijloace terapeutice. Un rol important l-au căpătat ultrasunetele de frecvențe foarte înalte, numite hipersunete, în studiul materiei permițînd crearea spectroscopiei sonice. În felul acesta a luat naștere o nouă ramură a acusticii — acustica moleculară.

Cercetări interesante în domeniul ultrasunetelor se fac și în țara noastră la Institutul de fizică, al Academiei R.P.R., din București, precum și la alte institute.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce este sunetul și de cîte feluri sînt sunetele?
2. Care sînt calitățile sunetelor și de ce anume depind ele?
3. Cum se propagă sunetul în diferite medii?
4. Cum se măsoară viteza sunetului în aer și de ce condiții depinde ea?
5. În ce condiții are loc reflexia sunetului?
6. Ce se numește sunet propriu al unui corp?
7. Ce se numește sunet fundamental al unui corp?
8. Ce înțelegem prin rezonanța sonoră?
9. Ce importanță prezintă rezonanța sonoră?
10. Cum se înregistrează sunetele prin metoda magnetică?
11. Cum se pot reproduce sunetele înregistrate?
12. Ce sînt ultrasunetele și cum se produc ele?
13. Care sînt proprietățile ultrasunetelor?
14. Ce efecte au ultrasunetele?
15. Care sînt aplicațiile practice ale ultrasunetelor?

PROBLEME

1. Un observator a auzit împușcătura unui tun la 8 s după ce a văzut flacăra împușcăturii. Distanța între tun și observator este de 2,72 km. Să se afle viteza sunetului.

R. 340 m/s.

2. Un sunet care se produce în apă formează unde cu lungimea de undă de 7,175 m; perioada de vibrație este de 0,005 s. Să se afle viteza sunetului în apă.

R. 1 435 m/s.

3. Un sunet are frecvența de 512 Hz. Să se afle lungimea de undă în aer, la temperatura de 0°C?

R. $\lambda_{aer} \approx 0{,}65$ m.

Scanned with OKEN Scanner

4. Să se afle lățimea unui lac, știind că sunetul a ajuns, prin aer, de la un mal la celălalt cu 10 secunde mai tîrziu decît prin apă. (Se consideră temperatura de 15°C.)

R. $\approx 4\,454$ m.

5. Doi observatori stau în punctele A și B, egal depărtate de un zid, la distanța de 200 m de zid. În punctul A se produce un sunet; observatorul din B îl aude cu 1 s înaintea aceluiași sunet reflectat de zid. Să se afle distanța dintre cei doi observatori (adică distanța AB) considerînd temperatura aerului de 15°C. La ce distanță ar trebui să se afle cei doi observatori pentru ca sunetul să se audă în aceleași condiții, dacă temperatura aerului scade la 0°C?

R. 1) $AB \approx 65{,}3$ m la $t° = 15°C$;
2) $AB = 75$ m la $t° = 0°C$.

6. Cîte secunde trebuie să treacă după ce s-a auzit împușcătura, pentru ca proiectilul să cadă, dacă observatorul se află la o depărtare de 4 000 m de țeava armei, iar viteza medie a proiectilului, pentru tragerea la distanța de 4 000 m, este de 200 m/s.

R. 8 s la 0°C.

Scanned with OKEN Scanner

II

OSCILAȚII ELECTRICE

OSCILAȚII ȘI UNDE ELECTROMAGNETICE

33. **Descărcarea oscilatorie a unui condensator.** Să realizăm experiența următoare, folosind montajul din figura 45, în care: B este o baterie cu tensiunea de 80—100 V; K un întrerupător cu două contacte; G un galvanometru; $S—N$ un magnet liniar care poate oscila în jurul unei axe ce trece prin centrul lui de greutate; a, b sînt niște limitatori care nu permit magnetului să se depărteze de poziția orizontală; L o bobină cu inductanță mare (cu miez de fier) și C un condensator. Cînd întrerupătorul K se găsește în poziția *1*, condensatorul se încarcă de la bateria B; punînd apoi întrerupătorul în poziția *2*, scoatem bateria din circuit și închidem circuitul LC. În acest moment are loc descărcarea condensatorului prin bobină. Vom observa că atît acul galvanometrului cît și magnetul oscilează în jurul poziției lor de echilibru. Aceasta demonstrează că *descărcarea condensatorului în circuit este o descărcare oscilatorie*, nu o descărcare bruscă. După cîtva timp, aceste oscilații se sting. Pentru a le menține mai departe este necesar să încărcăm periodic condensatorul, descărcîndu-l apoi prin bobina L.

Tot o descărcare oscilatorie este și descărcarea unei butelii de Leyda încărcată cu electricitate. Scînteia care ia naștere între sfera armăturii interioare a buteliei și sfera eclatorului are un caracter oscilant, după cum a ară-

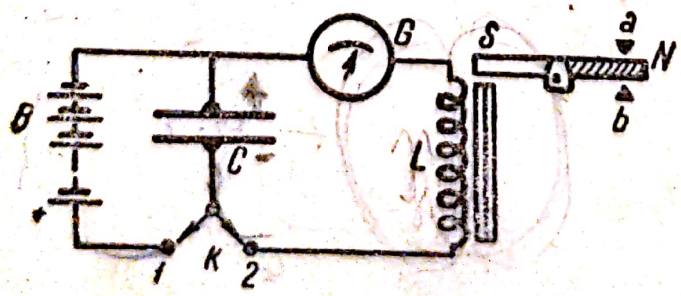


Fig. 45. Montaj pentru demonstrarea descărcării oscilatorii a unui condensator.

tat fizicianul Feddersen încă din prima jumătate a secolului al XIX-lea, studiind imaginea scînteii într-o oglindă rotitoare.

34. **Circuitul oscilant și explicarea electronică a descărcării condensatorului.** Din experiența descrisă în paragraful 33 și din alte experiențe s-a văzut că, pentru a obține oscilații electromagnetice (adică oscilații ale cîmpului electric și cîmpului magnetic), este necesar să se realizeze *un circuit electric format dintr-un condensator și o bobină*. Acest circuit a căpătat numele de *circuit oscilant* (v. fig. 45).

Cum se explică apariția oscilațiilor electromagnetice într-un astfel de circuit?

Cînd condensatorul C a fost încărcat (întrerupătorul K așezat în poziția *1*), una din armăturile sale, de exemplu, armătura inferioară, a devenit pozitivă, adică are lipsă de electroni, iar armătura superioară s-a încărcat negativ, adică a căpătat un surplus de electroni. Astfel, între armăturile condensatorului a luat naștere un cîmp electric, iar condensatorul a căpătat, de la baterie, o anumită rezervă de energie electrică. Mutînd întrerupătorul K în poziția *2*, închidem armăturile condensatorului prin bobină. În acest moment începe descărcarea condensatorului; electronii de pe armătura superioară trec, prin bobină, pe armătura inferioară pentru a compensa lipsa de electroni de aici. În felul acesta ia naștere un curent electric de descărcare, a cărui intensitate, datorită fenomenului de autoinducție a bobinei, nu atinge deodată valoarea maximă. Existența curentului de descărcare determină apariția unui cîmp magnetic în bobină, a cărui intensitate crește o dată cu creșterea intensității curentului. Pe măsură ce tensiunea dintre armăturile condensatorului scade, energia cîmpului electric se micșorează, iar energia cîmpului magnetic, al curentului care trece prin bobină, crește. Cu alte cuvinte, *energia cîmpului electric se transformă în energia cîmpului magnetic*. Cînd tensiunea electrică dintre armăturile condensatorului a ajuns la zero, intensitatea cîmpului magnetic a atins valoarea maximă și începe să scadă la zero. Conform legii inducției electromagnetice, variația cîmpului magnetic generează o tensiune electromotoare de autoinducție, al cărui sens este astfel încît, prin curentul generat, se opune dispariției cîmpului magnetic. Astfel, în circuit se va menține un curent de autoinducție, de același sens, deși condensatorul s-a

descărcat. Electronii vor continua deci să treacă de pe armătura superioară pe armătura inferioară, pînă la dispariția cîmpului magnetic. În acest moment, condensatorul va fi încărcat în sens invers față de încărcarea inițială; acum, armătura superioară va fi încărcată pozitiv și cea inferioară

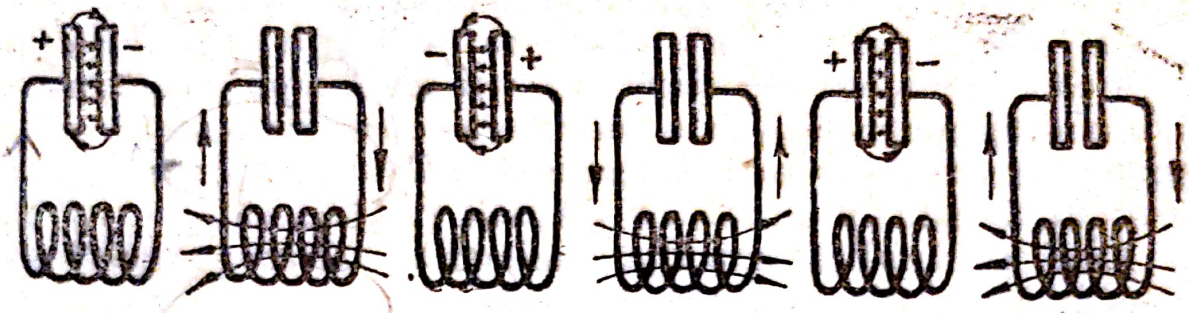


Fig. 46. Descărcarea oscilatorie a unui condensator printr-o bobină.

negativ. Spunem că: *energia cîmpului magnetic se transformă în energie a cîmpului electric.*

Fenomenele se repetă alternativ, pînă cînd, datorită în special transformării energiei electrice în energie calorică prin efect Joule-Lenz, din cauza rezistenței circuitului, încetează. Din cele spuse mai sus observăm că în circuitul oscilant au loc oscilații concomitente ale vectorului intensitate de cîmp electric și ale vectorului intensitate de cîmp magnetic.

Oscilațiile concomitente ale cîmpului electric și magnetic se numesc oscilații electromagnetice.

Transformările reciproce ale energiei electrice și magnetice pot fi urmărite în figura 46.

35. **Oscilații amortizate și neamortizate. Perioada de oscilație.** Oscilațiile electromagnetice obținute în circuitul din figura 45 se sting cu timpul, după cum s-a arătat. Astfel de oscilații se numesc *oscilații amortizate*. Diagrama unor astfel de oscilații este dată în figura 6, § 4. Amortizarea este cu atît mai mare cu cît rezistența activă a circuitului este mai mare. Dacă această rezistență este mică, amortizarea este slabă. Dacă rezistența activă a circuitului ar fi nulă, amplitudinea oscilațiilor ar rămîne constantă; oscilațiile nu s-ar mai amortiza. Astfel de oscilații se numesc *oscilații neamortizate*. Ele sînt oscilații armonice, iar graficul

lor este o sinusoidă (fig. 5, § 3). În realitate, rezistența nu poate fi nulă și deci oscilațiile electromagnetice vor fi amortizate, amortizarea lor depinzînd de valoarea rezistenței circuitului oscilant. Practic obținem oscilații electromagnetice neamortizate, dacă la momentul potrivit reîncărcăm periodic condensatorul. Ca și pentru oscilațiile elastice, și pentru oscilațiile electromagnetice se folosesc mărimile caracteristice: perioada și frecvența, ale căror definiții le cunoaștem. Perioada oscilațiilor electromegnetice, spre deosebire de perioada oscilațiilor elastice, depinde, după cum arată experiențele, de inductanța bobinei și de capacitatea condensatorului.

Astfel, notînd cu L inductanța bobinei și cu C capacitatea condensatorului, formula perioadei oscilațiilor electromagnetice este:

$$T = 2\pi\sqrt{L \cdot C}, \qquad (15)$$

cunoscută sub numele de formula lui Thomson. Inductanța L este măsurată în *henry* (H), iar capacitatea C în *farazi* (F). Se observă că alegînd valori diferite pentru L și C, putem obține oscilații electromagnetice de diferite perioade sau frecvențe.

36. **Rezonanța electrică.** Ca și la oscilațiile elastice, și în cazul oscilațiilor electromagnetice întîlnim fenomenul de rezonanță.

Pentru a demonstra aceasta să efectuăm următoarea experiență: fie două circuite oscilante $L\,C$ și L_1C_1 (fig. 47). Circuitul L_1C_1 are montat, în serie, un miliampermetru termic mA, iar condensatorul C_1 este variabil, spre a putea schimba perioada de oscilație a circuitului. Printr-un mijloc oarecare să producem în circuitul LC oscilații neamortizate. Așezînd bobina L_1 la o distanță potrivită de bobina L, constatăm că miliampermetrul indică existența unui curent electric în circuitul $L_1\,C_1$, adică circuitul LC transmite (radiază) o parte din energia sa oscilantă circuitului $L_1\,C_1$ ca și în cazul

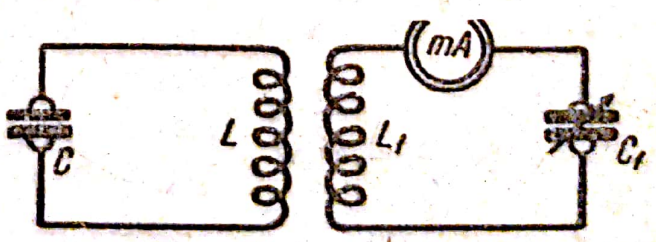


Fig. 47. Rezonanța electrică.

rezonanței mecanice, cu deosebire că aici este vorba de energie electromagnetică. Acționînd asupra condensatorului variabil C_1 observăm că intensitatea curentului din circuitul L_1 C_1 variază între o valoare minimă și o valoare maximă, pe care o atinge cînd circuitul a ajuns să aibă perioada de oscilație egală cu perioada circuitului LC. În acest caz are loc *rezonanța electrică* a celor două circuite. De acest lucru ne convingem ușor dacă luăm bobinele identice, adică $L = L_1$. Intensitatea va fi maximă în circuitul $L_1 C_1$, cînd $C_1 = C$. În adevăr, folosind formula lui Thomson pentru cele două circuite, obținem:

$$T = 2\pi\sqrt{L.C} \quad \text{și} \quad T_1 = 2\pi\sqrt{L_1 \cdot C_1}.$$

Dacă $T = T_1$ rezultă că:

$$\boxed{L.C = L_1.C_1} \quad \text{sau} \quad \boxed{\frac{L}{L_1} = \frac{C_1}{C}} \qquad (16)$$

Dacă $L = L_1$, rezultă că $C_1 = C$.

În cazul general, pentru a se obține rezonanța electrică este necesar să fie satisfăcută relația (16) sau cea anterioară ei.

37. **Circuitul oscilant deschis.** Un circuit oscilant de forma LC sau $L_1 C_1$ (fig. 47) se numește *circuit oscilant închis*. Așa cum s-a văzut în paragraful precedent, acest circuit are proprietatea de a radia energia oscilantă electromagnetică în spațiul înconjurător, dar în cantitate foarte

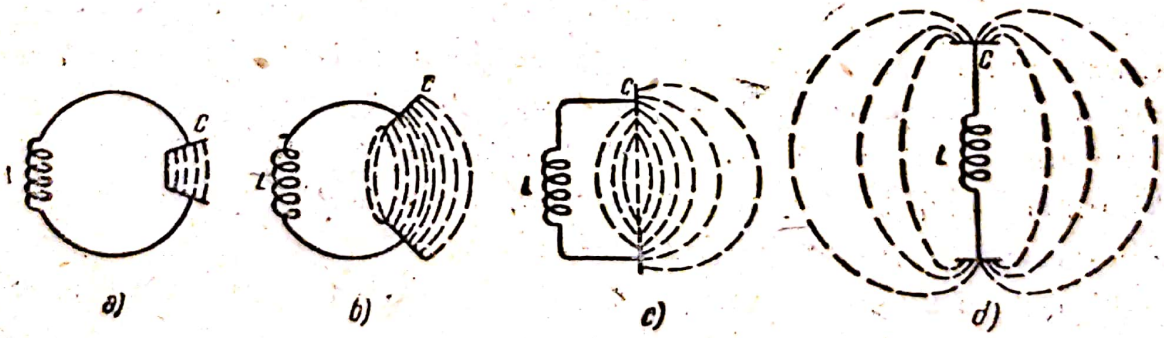


Fig. 48. Circuite oscilante deschise în diferite grade de deschidere.

mică, deoarece cîmpul electromagnetic este concentrat în cea mai mare parte între armăturile condensatorului și în interiorul bobinei. Depărtînd armăturile condensatorului, obținem un *circuit oscilant deschis*. Figura 48 reprezintă

cîteva circuite oscilante deschise, cu diferite grade de deschidere (a, b, c, d). Circuitul d are armăturile rotite cu 180° fiecare. Circuitul oscilant deschis radiază puternic energia electromagnetică.

38. **Cîmpul electromagnetic.** De la studiul electrostaticii se cunoaşte faptul că sarcinile electrice invariabile (ca poziţie şi mărime) creează în spaţiul înconjurător un *cîmp electrostatic*, ale cărui linii de cîmp sînt curbe deschise; ele încep pe sarcinile pozitive şi se opresc pe sarcinile negative sau la infinit.

Cîmpul electrostatic se caracterizează, din punct de vedere mecanic, prin acţiunea sa asupra sarcinilor aflate în cîmp, fără a prezenta vreo acţiune de natură magnetică. Altfel stau lucrurile în cazul sarcinilor electrice în mişcare, sau variabile în timp. După cum a demonstrat Maxwell şi s-a constatat ulterior pe cale experimentală, sarcinile variabile (ca poziţie sau ca mărime) generează un cîmp electric variabil, ale cărui linii de cîmp sînt curbe închise. Acest cîmp electric variabil se numeşte *cîmp electrodinamic* şi generează, în spaţiul în care se găseşte, un cîmp magnetic tot variabil, comportîndu-se din acest punct de vedere ca un curent electric variabil, care poate circula prin dielectrici şi prin spaţiul vid. Ipoteza existenţei unui astfel de curent a fost emisă de către Maxwell, care l-a numit *curent de deplasare*. Dacă ne referim la mecanismul de producere a oscilaţiilor electromagnetice într-un circuit oscilant închis, constatăm că, datorită cîmpului electric variabil creat de sarcinile variabile de pe armăturile condensatorului, curentul electric din conductoare se închide în dielectricul dintre armături prin curentul de deplasare. Existenţa acestui curent a fost pusă în evidenţă experimental de o seamă de fizicieni printre care de către fizicianul englez Silvanus Thomson (1851—1916). *În cîmpul electrostatic, curentul de deplasare nu poate lua naştere.*

La rîndul său, cîmpul magnetic variabil, după cum se ştie, poate genera într-un conductor, montat în circuit închis şi aflat în cîmp, un curent de inducţie electromagnetică. Aceasta demonstrează că în spaţiul respectiv există un cîmp electric variabil, care pune în mişcare dirijată electronii liberi din conductor. Acest cîmp electric variabil este generat de cîmpul magnetic variabil, iar existenţa lui

Scanned with OKEN Scanner

nu depinde de existența în cîmp a conductorului, care poate servi la punerea în evidență a cîmpului electric variabil.

Generalizînd fenomenele descrise mai sus, Maxwell a stabilit, prin calcule matematice, că: *orice cîmp electric variabil generează, în spațiul ocupat de el, un cîmp magnetic variabil și invers*. Aceste cîmpuri sînt orientate perpendicular, unul pe celălalt.

Cîmpul alcătuit din cîmpul electric variabil și cîmpul magnetic variabil care se generează reciproc se numește *cîmp electromagnetic* și reprezintă o formă specială de existență a materiei.

UNDE ELECTROMAGNETICE

39. **Propagarea undelor electromagnetice.** Ne amintim că un diapazon care vibrează, producînd prin vibrațiile sale comprimarea și dilatarea stratului de aer vecin, generează unde sonore care se propagă în toate direcțiile, cu viteza de 340 m/s. Tot astfel, un circuit oscilant produce oscilații electromagnetice care se propagă în tot spațiul, sub *formă de unde electromagnetice*, cu o anumită viteză. Propagarea cîmpului electromagnetic în spațiu se numește radiație electromagnetică. Caracterul de undă al propagării cîmpului electromagnetic decurge din teoria generală a fenomenelor electromagnetice dată de Maxwell în 1863. Pentru prima dată, undele electromagnetice au fost studiate experimental de fizicianul german Heinrich Hertz (1888).

Viteza de propagare a undelor electromagnetice a fost determinată experimental de către Hertz și a fost găsită, pentru propagarea în vid, egală cu viteza luminii ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Măsurători mai precise ale vitezei luminii ne dau $c = 2{,}998 \cdot 10^8$ m/s. Dacă propagarea are loc într-un mediu oarecare, atunci viteza de propagare va fi dată de relația:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon\mu}}, \qquad (17)$$

unde s-a notat: v — viteza de propagare a undei,

ε — permitivitatea mediului, exprimată în $\frac{F}{m}$,

μ — permeabilitatea magnetică a mediului, exprimată în $\frac{H}{m}$.

Lungimea de undă este dată de relația cunoscută $\lambda = v.T$. Pentru cazul cînd undele se propagă în vid $\lambda = c.T$, sau ținînd seama că $T = \frac{1}{\nu}$, rezultă că $\lambda = \frac{c}{\nu}$, sau încă $c = \lambda\nu$. Ca unitate de măsură pentru frecvență se ia 1 Hz, cu multiplii săi: 1 kHz = 1 000 Hz și 1 MHz = 1 000 000 Hz.

Undele electromagnetice folosite în radio și televiziune se pot clasifica după lungimea de undă, în: unde lungi, cu lungimea de undă cuprinsă între 2 000 și 600 m; unde medii (600—200 m); unde intermediare (200—50 m); unde scurte (50—10 m) și ultrascurte cu lungimea de undă sub 10 m.

40. **Antena.** În paragrafele 36 și 37 am văzut că un circuit oscilant închis radiază în spațiu o cantitate foarte mică din energia lui electromagnetică. Pentru a obține o radiație puternică de energie electromagnetică, în spațiu, se folosește un conductor numit *antenă*. Pentru prima dată, antena a fost construită și folosită de savantul rus A. S. Popov. Cel mai simplu tip de antenă este un fir vertical, cu un capăt în aer și celălalt legat la pămînt. Antena este folosită atît la emisia de unde electromagnetice cît și la recepție. O antenă nu este altceva decît un circuit oscilant deschis, din care am înlăturat armăturile condensatorului și bobina. La antenă, liniile de forță se desfășoară în spațiul înconjurător (fig. 49), pe cînd la circuitul oscilant închis sînt strînse într-un mănunchi (fig. 46). Față de circuitul oscilant închis, antena prezintă avantajul că are capacitatea și inductanța repartizate pe toată lungimea ei, nu concentrate în condensator și bobină. În adevăr, firul antenei poate fi considerat ca o armătură a unui condensator, cealaltă fiind pămîntul, iar inductanța fiind constituită din lungimea firului. Datorită repartizării capacității și inductanței în tot lungul antenei, curentul din antenă are valori diferite în diferitele puncte ale ei. Antena se comportă întocmai ca o coardă vibrantă,

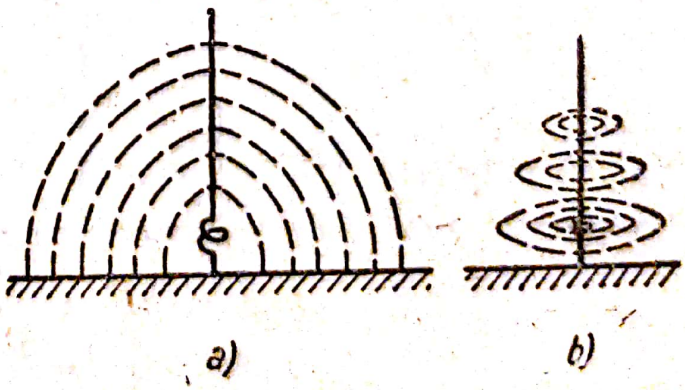


Fig. 49. Antena.

Scanned with OKEN Scanner

vibrînd pe un sfert lungime de undă. Într-o antenă, intensitatea maximă este la bază, pe cînd potențialul maxim este la vîrf (fig. 50). Putem modifica frecvența proprie a antenei, introducînd în circuitul ei o bobină sau o capacitate. Dacă introducem o bobină (legată în serie), antena se lungește, adică frecvența ei proprie scade, iar dacă introducem o capacitate, antena se scurtează, adică frecvența proprie crește. Acționînd astfel, putem acorda de pildă antena receptoare a unui circuit cu diferite antene ale postu-

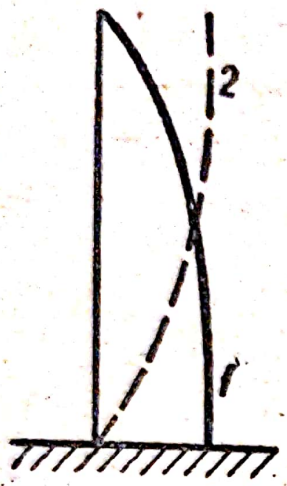


Fig. 50. Distribuția intensității curentului (*1*) și a potențialului (*2*) într-o antenă.

rilor de emisie. Formarea undelor electromagnetice în jurul unei antene de emisie este dată în figura 51 (componenta electrică a undei). La fiecare oscilație a curentului din antenă, în jurul ei iau naștere unde electromagnetice, care se propagă în mediul înconjurător cu viteza luminii.

41. **Proprietățile undelor electromagnetice.** Studiul experimental al undelor electromagnetice, prevăzute de teoria lui Maxwell, a fost făcut de către Heinrich Hertz. De aici

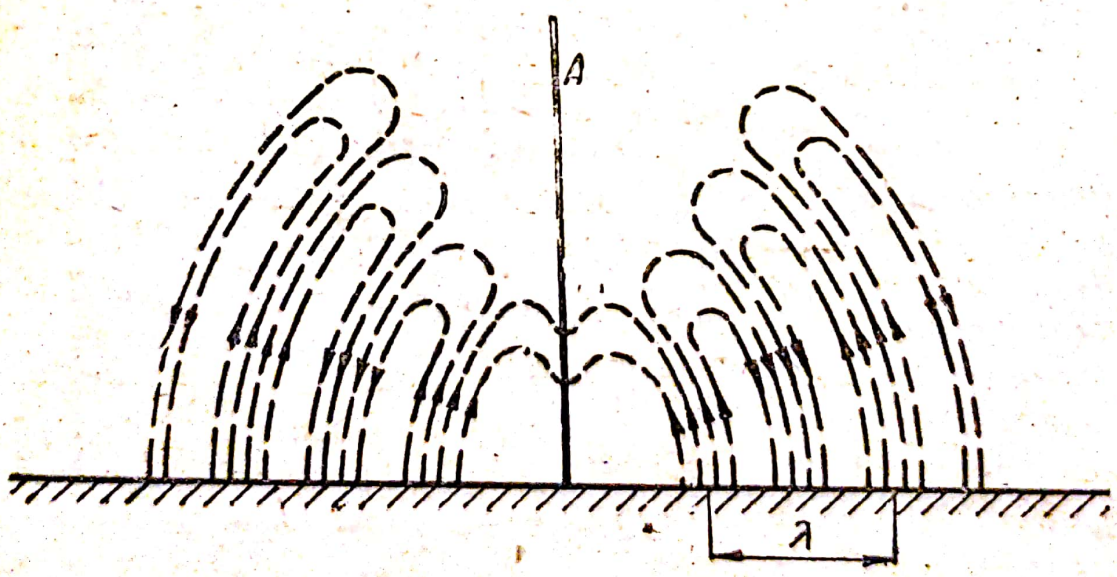


Fig. 51. Formarea și propagarea undelor în jurul unei antene de emisie (componența electrică a undei).

vine și denumirea lor de „unde hertziene". Frecvența oscilațiilor electromagnetice, obținute de Hertz, ajungea pînă la $5 \cdot 10^8$ Hz, corespunzătoare unei lungimi de undă de 60 cm.

La noi, nu de mult, prof. V. Petrescu, de la Iași, a reușit să obțină unde electromagnetice de 1,8 microni lungime de undă.

Undele electromagnetice se reflectă, se refractă și interferă întocmai ca undele luminoase. De asemenea, undele electromagnetice, întîlnind un obstacol, ale cărui dimensiuni sînt de ordinul de mărime al lungimii de undă, îl ocolesc, adică se difractă. Aceste proprietăți dovedesc că undele electromagnetice sînt asemănătoare undelor de lumină. S-a constatat că undele electromagnetice sînt reflectate de suprafețele corpurilor cu conductivitate electrică mare: metale, apa mărilor și oceanelor, suprafața pămîntului, straturile ionizate ale atmosferei superioare (ionosfera). În special, undele scurte sînt foarte bine reflectate. Datorită reflexiei undelor electromagnetice de către suprafața pămîntului și de către ionosferă este posibilă propagarea undelor scurte la distanță foarte mare, folosind puteri mici în posturile de emisie. Totodată, proprietatea undelor electromagnetice de a se reflecta ne permite să trimitem unde dirijate într-o anumită direcție (unde scurte și ultrascurte). Acest fenomen stă la baza radiolocației, despre care vom vorbi mai tîrziu.

Undele electromagnetice se pot propaga în vid ca și lumina. Undele electromagnetice sînt absorbite de substanțe, gradul lor de absorbție depinzînd de lungimea de undă și de natura substanței. În special, substanțele cu conductivitate electrică mare absorb puternic undele electromagnetice. Substanțele rău conducătoare de electricitate sînt transparente pentru aceste unde. Datorită acestei proprietăți, undele electromagnetice se pot propaga în aer la distanțe mari. Dacă undele electromagnetice întîlnesc în drumul lor un conductor, ele produc în acest conductor un curent alternativ de înaltă frecvență. Pe acest fenomen se bazează funcționarea antenelor de recepție. Energia electromagnetică absorbită de antenă se transformă în energie de mișcare a electronilor din antenă.

Scanned with OKEN Scanner

H. Hertz (portret)

H. Hertz (1857—1894), fizician german. A fost profesor de fizică la Universitatea din Bonn și elev al lui Helmholtz. A devenit celebru prin experiențele sale asupra undelor electromagnetice, contribuind astfel la verificarea asemănării lor cu lumina, după teoria expusă de Maxwell în 1863. A demonstrat experimental că undele electromagnetice sînt de natură ondulatorie. În 1889 a descoperit că oscilațiile electromagnetice ale unui centru oscilant dau naștere, la oarecare distanță de centru, la acțiuni induse. A inventat „oscilatorul Hertz", pentru producerea de unde electromagnetice, baza T.F.F. de azi. De asemenea a inventat „rezonatorul Hertz", pentru punerea în evidență a undelor electromagnetice.

TUBURI ELECTRONICE

42. **Dioda. Construcție, funcționare.** Într-un balon de sticlă sau metalic în care s-a făcut un vid înaintat se găsesc doi electrozi: un filament metalic, numit *catod K*, făcut dintr-un metal greu fuzibil și un al doilea electrod metalic numit *anod A* sau *placă*, aflat în fața catodului (fig. 52). Filamentul poate fi adus la incandescență cu ajutorul unei baterii de acumulatoare sau o altă sursă electrică. La multe tuburi electronice, filamentul este înconjurat de un cilindru de ceramică, prevăzut pe suprafața exterioară cu un strat de

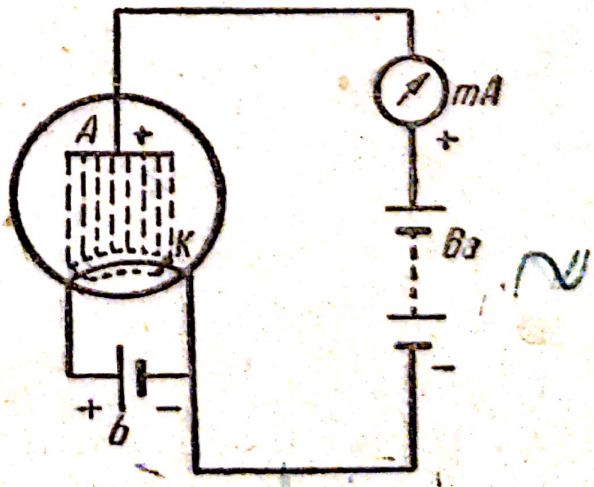


Fig. 52. Dioda.

Scanned with OKEN Scanner

oxizi metalici. Astfel de tuburi se numesc *tuburi electronice cu încălzire indirectă*, pe cînd cele care au numai filament se numesc *tuburi cu încălzire directă*. La tuburile cu încălzire indirectă, cilindrul acoperit cu oxizi metalici constituie catodul.

Anodul înconjură catodul şi poate avea diferite forme. Catodul şi anodul se leagă în circuitul unei surse de tensiune continuă, care poate fi o baterie de elemente *B a*, de 80—100 V sau mai mult, numită sursă anodică (baterie anodică). Acest circuit se numeşte *circuit anodic*, iar circuitul care cuprinde filamentul (catodul) şi sursa electrică a catodului constituie *circuitul de încălzire*. În circuitul anodic este montat, în serie, miliampermetrul *mA*. Dacă catodul este rece, atunci în circuitul anodic, întrerupt în interiorul tubului, nu se constată nici un curent. Încălzind catodul cu ajutorul unei surse electrice *b* de cîţiva volţi (spre exemplu, 1—4 V) şi legînd anodul la polul pozitiv al sursei de tensiune anodică, miliampermetrul indică trecerea unui curent electric prin circuitul anodic. Acest curent se numeşte curent anodic (se notează cu *Ia*) şi depinde atît de tensiunea anodică cît şi de temperatura catodului, fiind cu atît mai mare cu cît sînt mai ridicate tensiunea anodică şi temperatura catodului. Valoarea maximă a curentului anodic se numeşte curent de saturaţie (notat *I s*).

Tubul descris mai sus se numeşte *diodă* sau tub electronic cu doi electrozi (catod şi anod). Funcţionarea sa se bazează pe *fenomenul de emisiune termoelectrică*. Acest fenomen constă în emisiunea de electroni de către metale sau de către compuşii lor, prin încălzire. În cazul diodei, din catodul încălzit ies electroni care formează în jurul său o sarcină spaţială negativă. Prin conectarea anodului la polul pozitiv al sursei anodice, al cărei pol negativ este conectat la catod, între cei doi electrozi se stabileşte un cîmp electric care imprimă electronilor o mişcare dirijată spre anod. Astfel, în circuitul anodic apare un curent electronic. Cu cît cîmpul electric va fi mai intens cu atît un număr mai mare de electroni vor fi atraşi de anod. Cînd toţi electronii emişi de catod ajung la anod, se spune că curentul anodic a ajuns la saturaţie. De acum înainte, chiar dacă s-ar mai mări tensiunea anodică, curentul anodic rămîne constant; el va creşte numai dacă mărim temperatura catodului. Deci curentul de saturaţie este funcţie numai de temperatura catodului.

Scanned with OKEN Scanner

Dacă se leagă anodul la polul negativ al sursei anodice, curentul electric devine practic nul, deoarece anodul devenit negativ respinge electronii.

În figura 53 sînt reprezentate două modele analoge ale diodei, pentru a se ilustra funcționarea ei. Prin tubul de la partea inferioară se suflă un curent de picături de apă fin pulverizate. Legînd tubul la polul negativ al unei surse de tensiune înaltă și electrodul superior la polul pozitiv al acestei surse, picăturile electrizate negativ sînt atrase (fig. 53, *a*). Dacă electrodul este negativ, picăturile sînt respinse (fig. 53, *b*).

Această proprietate a diodei este folosită în radiotehnică la redresarea curentului alternativ.

Funcționarea diodei ca redresoare. Dioda folosită ca redresoare se mai numește și *kenotron*. Schema de principiu a

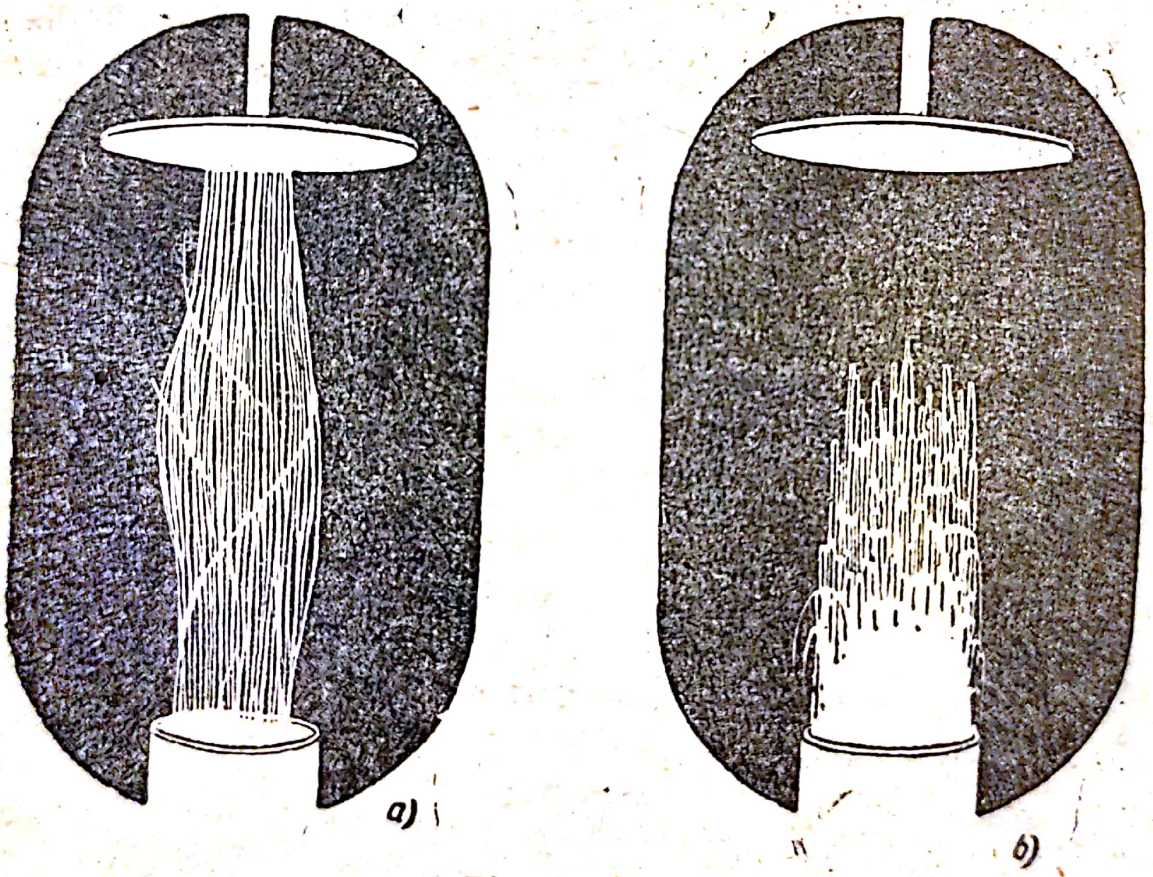


Fig. 53. Model de diodă:
a — placa este pozitivă; *b* — placa este negativă.

redresării curentului alternativ este asemănătoare aceleia din figura 52, în care se montează, în locul bateriei anodice B_a, sursa de tensiune alternativă. În circuitul tubului va trece curent numai cînd anodul va fi pozitiv față de catod.

Dioda – umplută cu gaz (argon, heliu) – catod – Ni, anod – oțel, cărbune, – gazotron – tub ionic

În figura 54, *a* este reprezentat graficul curentului alternativ. În momentul cînd anodul devine negativ, curentul se întrerupe. Ca rezultat, în circuitul anodic ia naștere un curent care circulă într-un singur sens, dar are o intensitate variabilă (fig. 54, *b*).

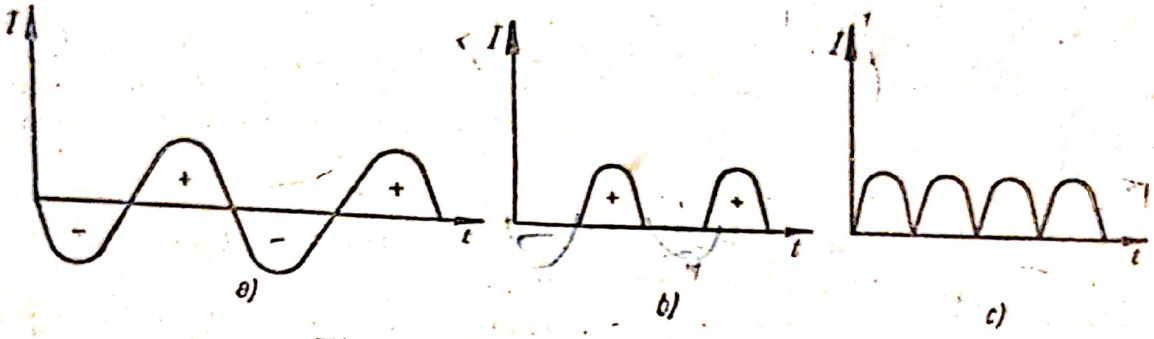


Fig. 54. Redresarea curentului alternativ.

Un astfel de curent este un *curent pulsant*. Diferite montaje electrice pot redresa sau numai o alternanță (fig. 54, *b*), sau ambele alternanțe (fig. 54, *c*).

43. **Trioda.** *Construcție.* Introducînd între catodul și anodul diodei un al treilea electrod, construit fie din fire metalice paralele, întinse pe un cadru, fie în forma unei spirale, obținem *tubul cu trei electrozi* sau *trioda*. Din cauza formei sale caracteristice, acest electrod s-a numit *grilă* sau *grătar*. Trioda a fost inventată în 1907 de către inginerul Lee de Forest. Înfățișarea triodei este reprezentată în figura 55, unde se vede și schema ei. Grila (*G*) are rolul de a comanda fluxul de electroni dintre catod și anod. Dacă aplicăm grilei un potențial pozitiv, ea fiind mai aproape de catod decît anodul, va antrena un număr mai mare de electroni spre anod;

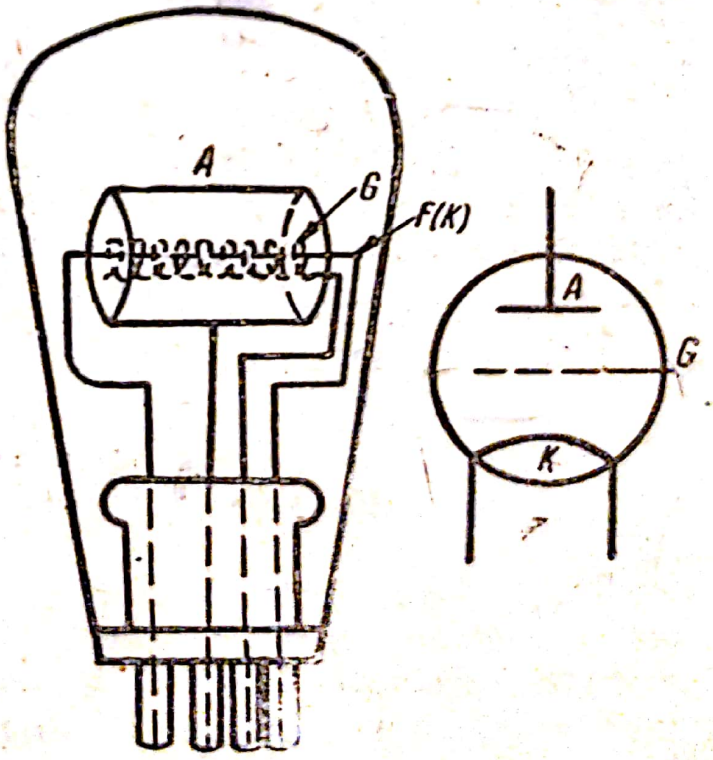


Fig. 55. Trioda.

dacă îi aplicăm însă un potențial negativ, ea va respinge electronii, astfel că fluxul de electroni dintre catod și anod se va micșora. Modul cum grila acționează asupra fluxului de electroni este reprezentat de către modelele din

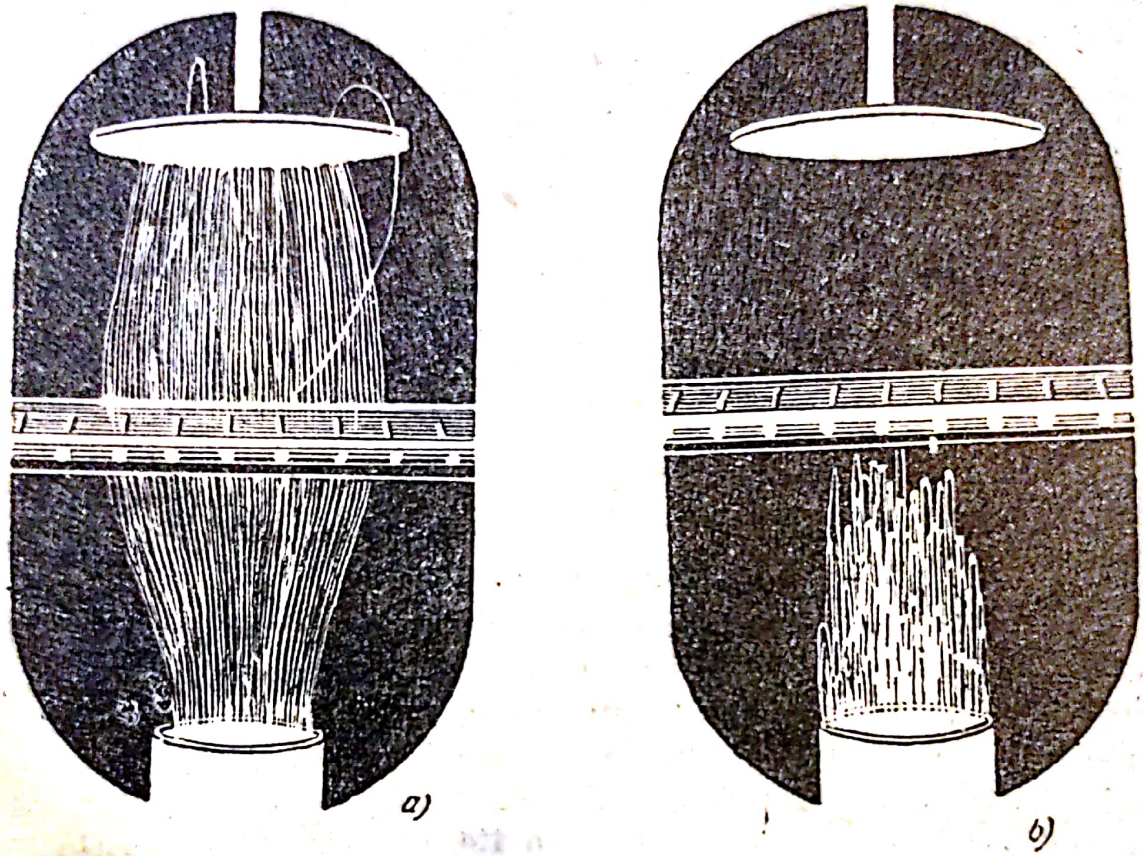


Fig. 56. Model pentru reprezentarea acțiunii grilei asupra fluxului de electroni:
a — grila se află la un potențial pozitiv; *b* — grila se află la un potențial puternic negativ.

figura 56, *a*, *b*. Datorită acestei proprietăți a grilei de a comanda fluxul de electroni dintre catod și anod, trioda a căpătat o largă întrebuințare în practică, îndeplinind mai multe funcțiuni, ca: generator de oscilații, amplificator, detector.

44. **Caracteristicile triodei.** Pentru o anumită încălzire a catodului, care se menține constantă, curentul anodic depinde atît de tensiunea U_g aplicată grilei (tensiunea între grilă și catod) cît și de tensiunea anodică, U_a. Dacă se menține constantă una dintre cele două tensiuni, spre exemplu U_a=constant, atunci curentul anodic variază numai în funcție de tensiunea de grilă, adică $I_a = f(U_g)$ pentru U_a = constant. Pentru a studia variația curentului din circuitul anodului

(curentul anodic), în funcție de tensiunea grilei, realizăm un montaj electric ca cel din figura 57. Mișcînd cursorul potențiometrului P, variem tensiunea aplicată grilei, menținînd constantă o anumită tensiune pozitivă aplicată anodului și o anumită încălzire filamentului. Tensiunea de grilă o citim la voltmetrul V_g, iar intensitatea curentului anodic o citim la mili-

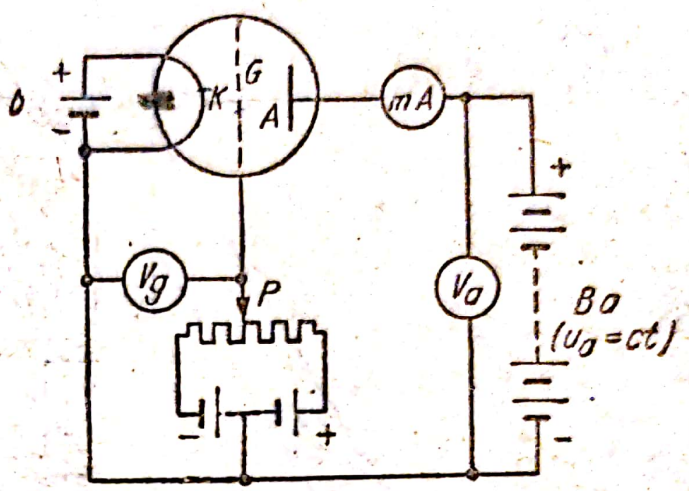


Fig. 57. Montaj pentru studiul variației curentului anodic.

ampermetrul mA. Alegînd apoi un sistem rectangular de axe coordonate și așezînd valorile tensiunii de grilă în abscisă și valorile corespunzătoare ale intensității curentului anodic, în ordonată, obținem o curbă caracteristică trasată ca în figura 58, numită caracteristica statică de grilă a triodei. Se numește caracteristică statică, deoarece în circuitul anodic al tubului, în afara bateriei anodice, nu se află introdusă o sarcină (impedanță sau rezistență activă). O astfel de curbă se poate trasa și pentru diodă, în funcție de tensiunea anodică. Observăm că intensitatea curentului anodic crește la început încet, apoi crește rapid și se termină cu o porțiune orizontală, corespunzătoare curentului de saturație. Dacă trasăm pentru diferite tensiuni

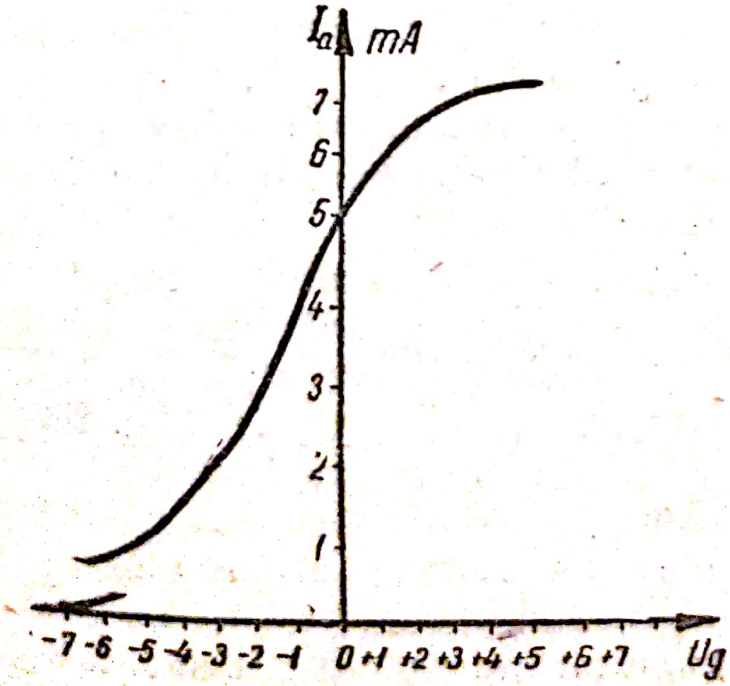


Fig. 58. Caracteristica statică de grilă a triodei.

anodice caracteristicile de grilă, obținem curbele din figura 59. Din figură se vede că aceste curbe, pe porțiunea rectilinie, sînt aproape paralele. De asemenea se observă că la o creștere a tensiunii anodice corespunde o creștere a intensității curentului anodic, iar curba caracteristică se deplasează spre stînga. Studiind aceste curbe constatăm că, dacă vrem să mărim intensitatea curentului anodic, de exemplu, cu 5 mA (în figură, de la 8,5—13,6), avem două posibilități: sau pornim de

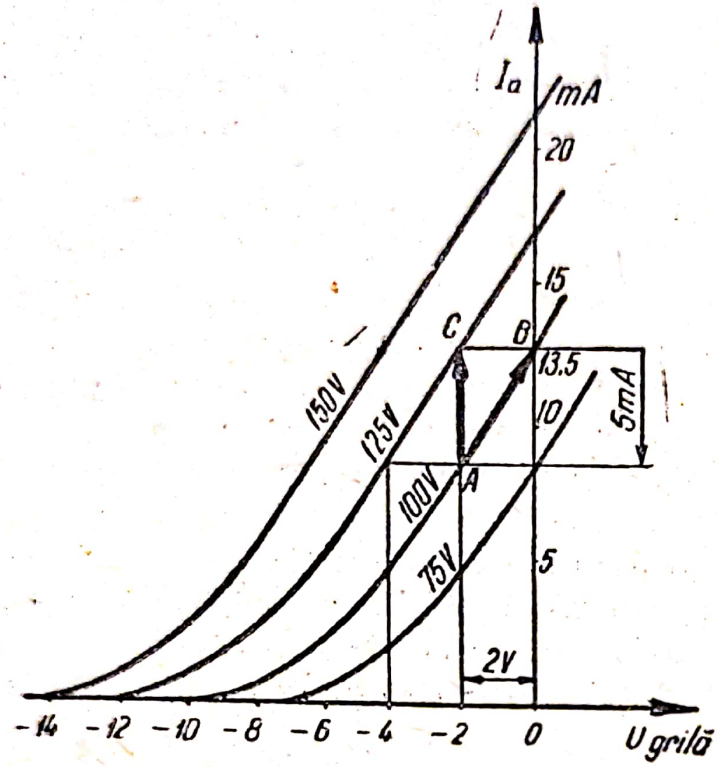


Fig. 59. Curbele caracteristice de grilă ale triodei.

la A la B, ridicînd potențialul grilei cu 2V (de la 0—2); sau ne ridicăm de la A la C mărind potențialul anodic cu 25 V, trecînd de la curba de 100 V la curba de 125 V.

Rezultă că: *obținem același efect dacă mărim tensiunea anodică cu 25 V sau tensiunea grilei cu 2 V*.

Pentru a arăta de cîte ori acționează mai slab tensiunea anodică asupra curentului anodic decît tensiunea de grilă, se definește factorul de amplificare.

Dacă variază, spre exemplu, crește tensiunea anodică cu ΔU_a (variație ce provoacă creșterea curentului anodic), pentru a menține curentul anodic la valoarea inițială trebuie să scadă tensiunea de grilă cu o anumită valoare ΔU_g. Scăderea tensiunii de grilă necesară menținerii curentului anodic constant este mai mică decît creșterea tensiunii anodice, deoarece influența grilei asupra curentului anodic este mai puternică decît influența anodului. Factorul de amplificare se definește ca raportul dintre variația tensiunii anodice

Scanned with OKEN Scanner

și variația tensiunii de grilă pentru a menține curentul anodic constant.

Deci: $\mu = -\left(\frac{\Delta U_a}{\Delta U_g}\right)$ pentru $I_a = \text{const.}$

Factorul de amplificare se ia cu semnul minus, deoarece pentru a menține curentul anodic constant, pentru o creștere a tensiunii anodice e necesară o scădere a tensiunii de grilă și invers.

Factorul de amplificare definit mai sus se numește *factor de amplificare static*. La funcționarea triodei în diferite montaje, în circuitul său anodic sînt montate diferite sarcini în care au loc căderi de tensiune diferite. În aceste cazuri, în locul factorului de amplificare static se folosește mărimea numită *factor de amplificare dinamic*, a cărui valoare este mai mică decît valoarea factorului de amplificare static.

Funcțiile triodei. Datorită posibilității de a comanda, prin intermediul grilei, fluxul de electroni dintre catod și anod, trioda poate îndeplini următoarele funcțiuni:

a) generator de oscilații electromagnetice întreținute;
b) amplificator;
c) detector (redresor).

45. **Trioda ca generator de oscilații electromagnetice întreținute.** Pentru a obține oscilații neamortizate într-un circuit oscilant trebuie să compensăm periodic energia consumată. Acest rol îl poate îndeplini trioda.

Una dintre schemele cele mai simple de generator de oscilații neamortizate de mică putere, cu triodă, este reprezentată în figura 60. Circuitul oscilant LC este introdus în circuitul grilei (circuitul care cuprinde grila, catodul, sursa de negativare a grilei B_g și circuitul oscilant $L\,C$). În circuitul anodic este montată, în serie, bobina L', care este cuplată cu bobina L. După închiderea circuitului de încălzire și a circuitului anodic, bobina L' va fi parcursă de curentul anodic, a cărui intensitate crește, cu sensul electronic de la stînga la dreapta. Acest curent, prin cîmpul magnetic generat, va induce în bobina L un curent de inducție care, conform legii lui Lenz, va fi de sens contrar curentului inductor din bobina L (adică de la dreapta la stînga). Acest curent va pozitiva grila tubului și va încărca cu sarcini negative

armătura din stînga a condensatorului C (fig. 60, b), iar armătura din dreapta se va încărca pozitiv. Ca urmare a pozitivării grilei, curentul anodic va creşte şi mai rapid către o valoare maximă. După atingerea acestei valori, curentul

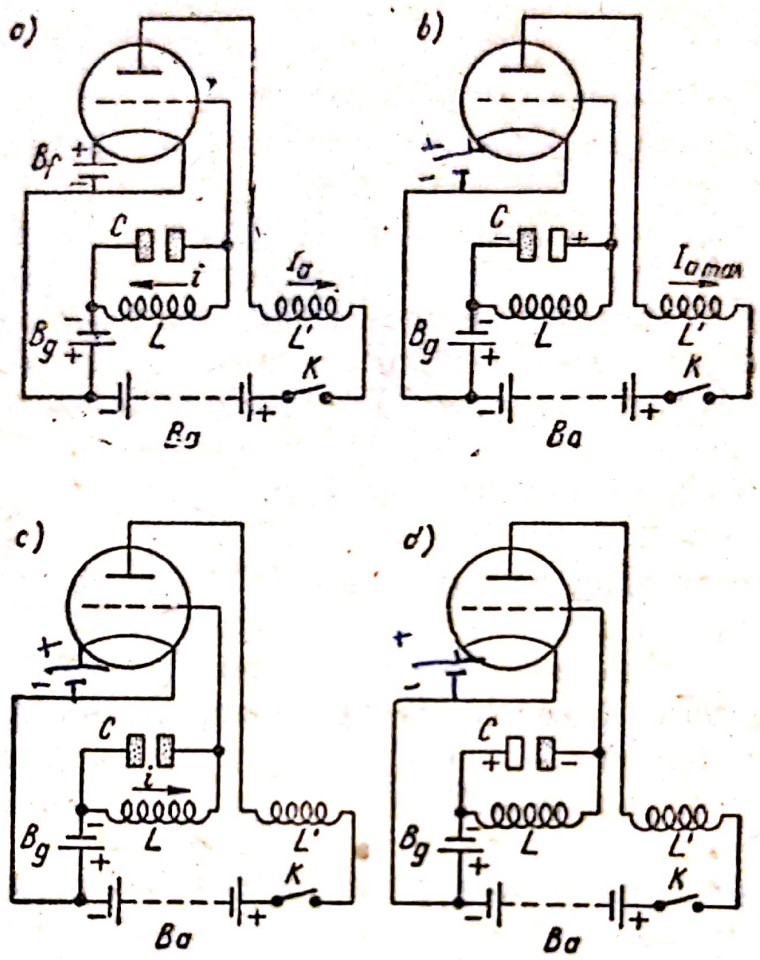


Fig. 60. Trioda ca oscilator.

anodic rămîne constant. În acest moment încetează curentul prin bobina L, deoarece încetează fenomenul de inducţie electromagnetică. Condensatorul încărcat se va descărca prin bobina L. Sensul electronic al curentului de descărcare este acum de la stînga la dreapta (fig. 60, c). Grila va deveni acum mai negativă şi va micşora curentul anodic. Micşorarea curentului anodic face să apară, prin inducţie, un curent în bobina L de acelaşi sens cu curentul din bobina L' (conform legii lui Lenz) şi cu curentul de descărcare a condensatorului. Datorită acestui curent, după ce se descarcă condensatorul, el se va reîncărca în sens invers (fig. 60, d), iar grila va deveni din ce în ce mai negativă, pînă cînd curentul anodic încetează. Din momentul cînd încetează curentul anodic, încetează şi reîncărcarea condensatorului, deoarece încetează

Scanned with OKEN Scanner

și curentul indus în bobina L. Condensatorul va începe să se descarce; prin bobina L va circula un curent de descărcare în sensul inițial (de la dreapta la stînga), negativarea grilei se micșorează (grila devine mai pozitivă), iar în circuitul anodic va începe să circule din nou curentul anodic și fenomenele se repetă. (La alte tipuri de generatori, circuitul oscilant LC este montat în circuitul anodic.)

În circuitul LC vor lua naștere *oscilații electromagnetice întreținute*. Dispozitivul care produce astfel de oscilații, folosind tuburi electronice, se numește *oscilator cu tuburi electronice*; este un oscilator cu autoexcitație, pentru că oscilațiile neamortizate se autoîntrețin. Un astfel de oscilator realizează transformarea energiei curentului continuu al bateriei anodice B_a în energie a curentului alternativ de înaltă frecvență.

Oscilatorii cu tuburi electronice sînt folosiți pe scară largă. Ei pot produce curenți alternativi de la frecvențele joase pînă la cele mai înalte, datorită lipsei de inerție a tubului electronic.

46. **Trioda ca amplificator.** O a doua funcțiune de bază a triodei este aceea de a amplifica oscilațiile electrice. După felul mărimii de amplificat deosebim mai multe categorii de amplificatori printre care: amplificatori de tensiune și amplificatori de curent. După domeniul de frecvențe în care se lucrează deosebim două feluri de amplificatori:

a) amplificatori de joasă frecvență;
b) amplificatori de înaltă frecvență.

Indiferent de domeniul de frecvențe sau de mărimea de amplificat, principiul amplificării este următorul: *mărimea oscilantă de amplificat se aplică circuitului grilei de comandă a triodei, iar în circuitul anodic se obține mărimea amplificată*. Montajul realizat poartă numele de *etaj de amplificare*. Ca exemplu să considerăm un etaj de amplificare a tensiunii curenților de înaltă frecvență induși de o antenă în circuitul oscilant L_1 C_1, cuplat inductiv cu antena (fig. 61,*a*), întîlnit mult în recepție și emisie. De la acest circuit, care are rol de generator, tensiunea alternativă de înaltă frecvență se aplică pe grila de comandă a triodei, care va deveni alternativ pozitivă și negativă, făcînd să varieze curentul anodic cu aceeași frecvență. Ca urmare, în circuitul oscilant L_2 C_2,

Scanned with OKEN Scanner

acordat pe frecvența circuitului $L_1 C_1$, vor lua naștere oscilații de aceeași frecvență, dar de tensiune mult mai mare față de tensiunea din circuitul grilei (L_1C_1). Experimental se constată că simultan cu amplificarea tensiunii are loc și o

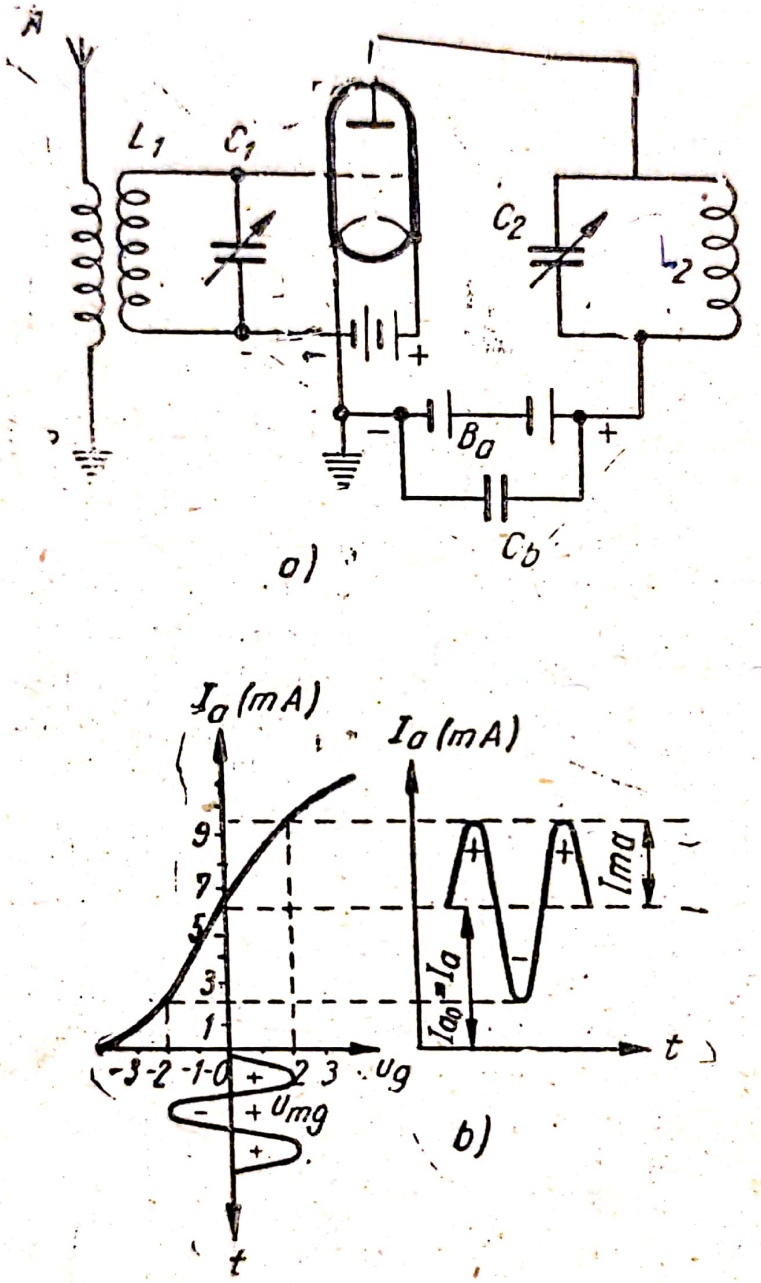


Fig. 61. Trioda ca amplificator.

amplificare a intensității, așa cum se observă din figura 61, *b*. Produsul dintre amplitudinea curentului anodic și rezistența (sau impedanța) de sarcină ne dă amplitudinea tensiunii amplificate. Valoarea curentului anodic în absența tensiunii alternative de pe grilă (numită tensiunea semnalului) se numește curent de repaus și se notează Ia_0, iar

punctul de pe caracteristică corespunzător curentului de repaus se numește punct de funcționare. Pentru ca semnalul amplificat să corespundă exact semnalului inițial (aplicat pe grilă), trebuie ca punctul de funcționare să fie la mijlocul porțiunii rectilinii a caracteristicii tubului, iar amplitudinea semnalului să nu iasă din limitele acestei porțiuni. Pentru a se obține o amplificare mare se pot folosi mai multe etape de amplificare.

47. Trioda ca detector (redresor). Ca și dioda, trioda poate fi folosită pentru transformarea unui curent alternativ într-un curent redresat. Se știe că un curent alternativ de joasă frecvență, sau de înaltă frecvență are ambele alternanțe ale fiecărei oscialții de amplitudini egale în valoare absolută, astfel încît valoarea medie a curentului în timpul unei perioade este zero. A redresa (detecta) un astfel de curent, cu ajutorul triodei, înseamnă fie a-i reduce complet una din alternanțe, fie a o atenua într-o astfel de măsură încît valoarea medie a curentului într-o perioadă să fie diferită de zero. Termenul de redresare se folosește în cazul curenților alternativi de joasă frecvență, iar cel de detecție, pentru curenții alternativi de înaltă frecvență. Detecția curenților de înaltă frecvență este folosită în radiocomunicații. Detecția cu trioda poate fi de două feluri:

a) detecție pe grilă, sau în circuitul grilei;
b) detecție pe placă, sau în circuitul anodic.

Detecția pe grilă, în principiu, constă în următoarele: tensiunea oscilațiilor de detectat se aplică între grila triodei și filament (catod) prin intermediul condensatorului C_1 (fig. 62). În acest caz, catodul și grila triodei joacă rolul electrozilor diodei (grila avînd rolul anodului diodei). Cînd

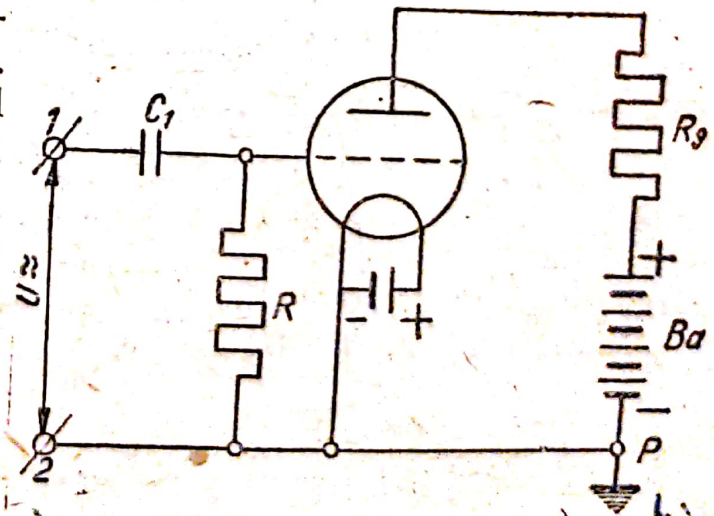


Fig. 62. Trioda ca detector.

grila este pozitivă, curentul anodic are intensitatea maximă, iar cînd este negativă, intensitatea curentului anodic este minimă. Dacă negativarea grilei este mare, curentul anodic se poate chiar întrerupe pentru alternanța negativă, apoi se restabilește pentru alternanța pozitivă. Ca urmare, în rezistența de sarcină R_s din circuitul anodic se obține un curent redresat. În același timp, pe lîngă redresare, la bornele rezistenței de sarcină se culege o tensiune mai mare (amplificată) decît tensiunea de redresat. Rezistența R poartă numele de *rezistență de scurgere*. Această rezistență are rolul de a împiedica blocarea tubului prin acumularea electronilor pe grilă. Acești electroni trec prin rezistența lor la masă (pămînt).

La detecția pe placă se aplică grilei o tensiune U_g = constant, astfel încît punctul de funcționare A al tubului să fie situat fie la cotul inferior al curbei caracteristice de grilă (fig. 63, *a*), fie la începutul curbei (fig. 63, *b*). Peste această tensiune se aplică tensiunea oscilantă de detectat. În acest caz, oscilațiile tensiunii grilei se vor efectua în jurul valorii U_g = constant. După cum se observă din figură, o oscilație completă a tensiunii grilei, cu ambele alternanțe egale, în valoare absolută, face să apară în circuitul anodic o oscilație cu două alternanțe neegale (fig. 63, *a*) sau alternanța negativă să fie eliminată total (fig. 63, *b*).

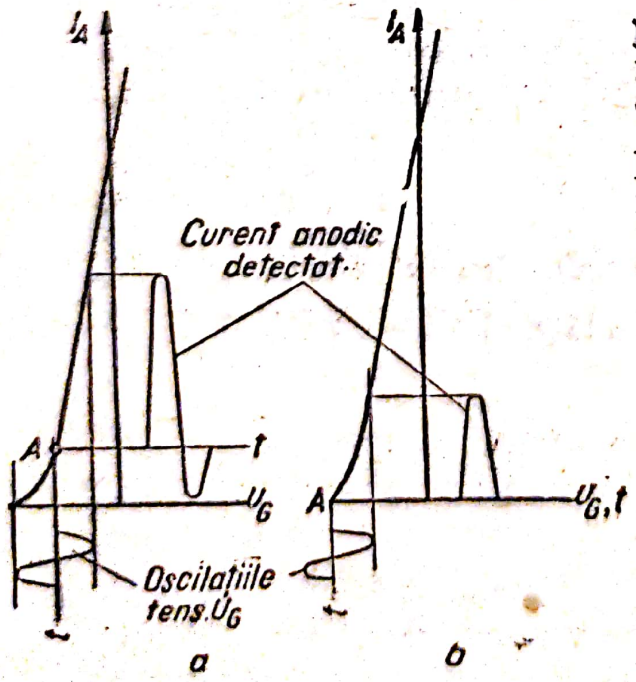


Fig. 63. Detecția pe placă la triodă.

Comparativ, detecția pe grilă dă o mare amplificare, dar introduce distorsiuni, pe cînd detecția pe placă dă o amplificare mică, dar fără distorsiuni. Detecția pe placă este folosită în receptoarele moderne, pe cînd detecția pe grilă este folosită de obicei în receptoarele construite de radioamatori.

Scanned with OKEN Scanner

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 3

Trasarea caracteristicilor unei triode

Aparate: două voltmetre (unul —V_g, cu scala de la 0—20 V, al doilea —V_a, cu rezistență interioară mare și scala de la 0—220 V sau 0—110 V), un miliampermetru, un potențiometru P, un acumulator pentru filament b, o baterie anodică B și un tub cu trei electrozi.

Modul de lucru: Se realizează montajul din figura 57, apoi se alcătuiește o tabelă ca cea de mai jos. Se lucrează așa cum este indicat în paragraful 44.

$U_a = 60$ V	U_g / I_a
$U_a = 80$ V	U_g / I_g
$U_a = 100$ V	U_g / I_a

Se trasează apoi, pe hîrtie milimetrică, curbele caracteristice, așa cum se vede în figura 59.

Determinăm apoi factorul de amplificare, după formula 18.

NOȚIUNI GENERALE DE RADIOCOMUNICAȚIE

48. **Radioemisiunea și radiorecepția.** Descoperirea undelor electromagnetice și inventarea aparatelor pentru producerea lor a constituit un pas important în progresul omenirii. Printre aplicațiile importante ale undelor electromagnetice se situează radiocomunicațiile. Orice radiocomunicație implică existența unui emițător și a unui receptor.

Scanned with OKEN Scanner

Comunicațiile se pot realiza fie prin semnale Morse — T.F.F. — fie în fonie (transmiterea cuvintelor și a muzicii) — radiofonia.

a) *Radioemisiunea*. Primele emițătoare, așa-zisele posturi cu scîntei, produceau oscilații amortizate într-o antenă care le radia. Figura 64 reprezintă un astfel de post pentru transmiterea de semnale Morse. Aceste emițătoare au fost perfecționate mereu, pînă

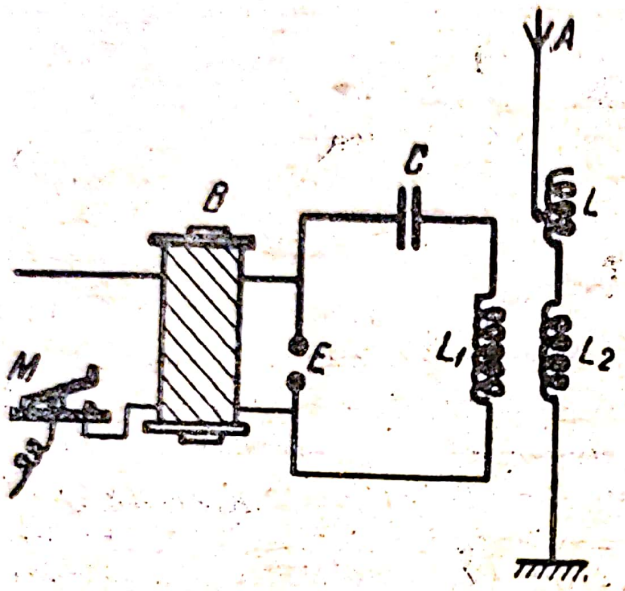


Fig. 64. Cel mai simplu emițător cu scîntei:
B — bobina de inducție; *M* — manipulator Morse; *E* — eclator; L_1C — circuitul oscilant închis; L_1L_2 — bobinele de antenă; *A* — antena.

cînd, o dată cu invenția tuburilor electronice, s-a trecut la emițătorul modern cu tuburi electronice (fig. 65). În schema din această figură circuitul oscilant e montat

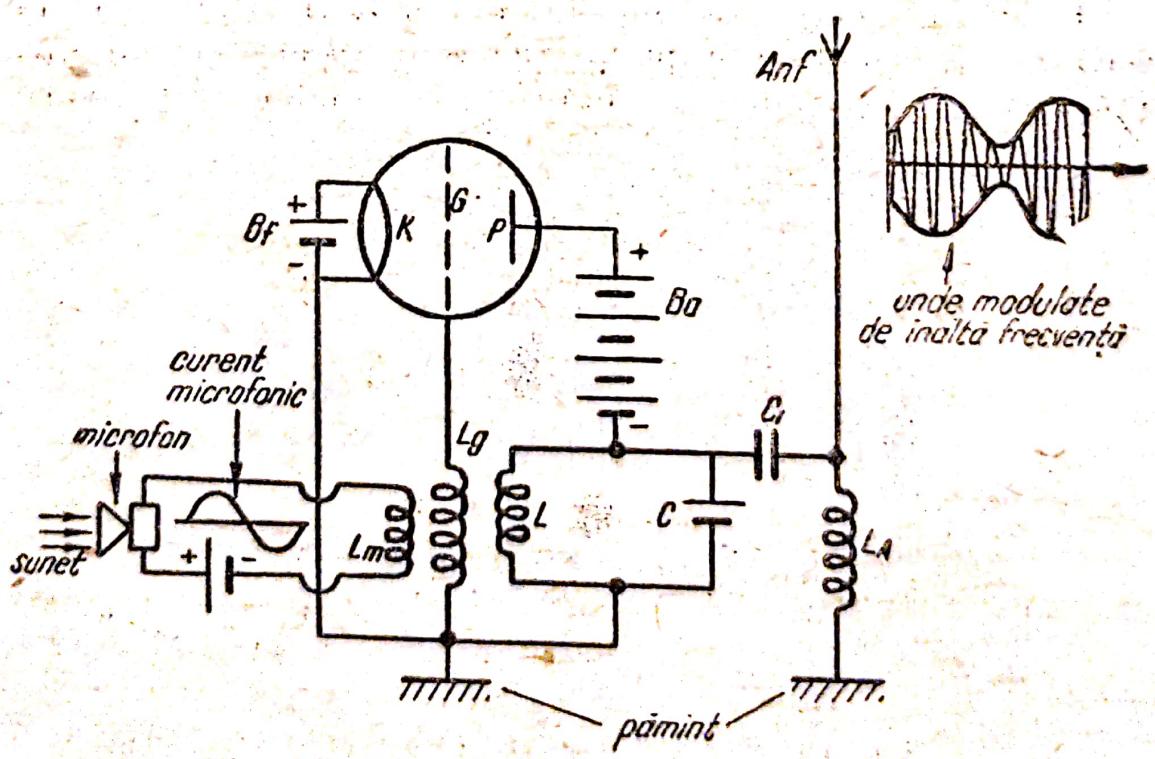


Fig. 65. Cel mai simplu emițător cu tuburi electronice.

în circuitul anodic. Pentru transmiterea cuvintelor și a muzicii, oscilatorul postului emițător produce oscilații întreținute de înaltă frecvență, numite oscilații purtătoare, cărora le corespund unde numite unde purtătoare. Amplitudinea (sau frecvența) acestor oscilații variază, sub acțiunea și în concordanță cu curentul microfonic provenit din transformarea sunetelor, produse în fața microfonului, în curent variabil de joasă frecvență. Acest proces de variație a amplitudinii sau frecvenței oscilațiilor purtătoare de înaltă frecvență, în concordanță cu oscilațiile acustice transmise, se numește modulație (în amplitudine sau în frecvență). Oscilațiile de înaltă frecvență ce rezultă se numesc oscilații modulate, iar curentul microfonic se numește semnalul modulator. Figura 65 reprezintă schema celui mai simplu emițător cu tuburi electronice, în funcțiune. Din figură se vede că vorbind în fața microfonului, membrana sa vibrează cu frecvența sunetului, ceea ce face ca în circuitul microfonului să circule un curent variabil de joasă frecvență. Acest curent, prin intermediul grilei, modulează oscilațiile purtătoare produse de oscilator. Oscilațiile modulate sînt radiate apoi de antenă sub formă de unde modulate în amplitudine (sau în frecvență).

b) *Radiorecepția*. Cel mai simplu radioreceptor este constituit din următoarele părți (fig. 66): antena A; circuitul oscilant închis, format din bobina L și condensatorul varia-

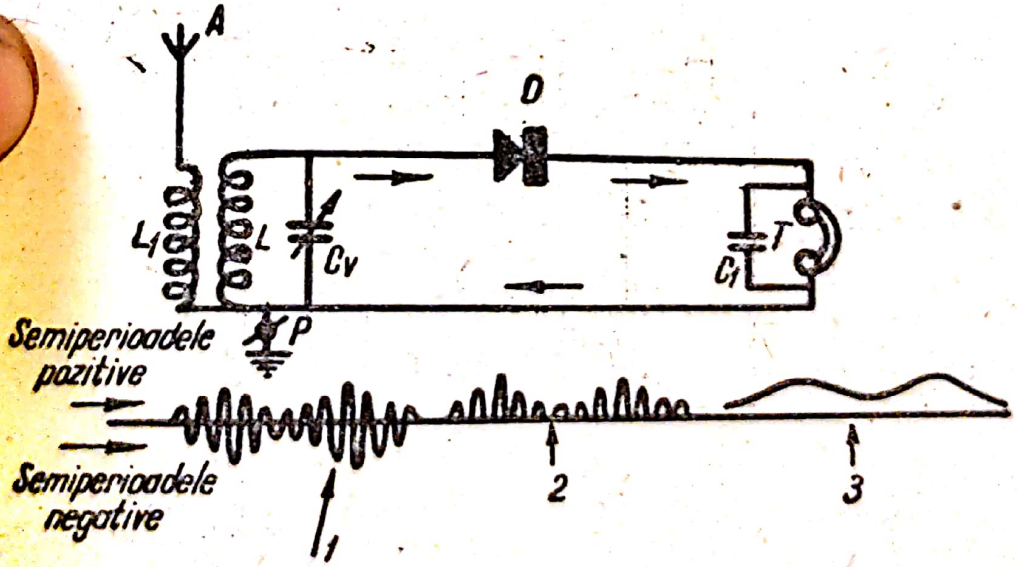


Fig. 66. Cel mai simplu radioreceptor cu cristal:
1 — curentul prin circuitul oscilant; *2* — curentul prin detector; *3* — curentul prin telefon.

Scanned with OKEN Scanner

bil Cv; detectorul D, care poate fi un cristal semiconductor sau un tub electronic (diodă) și telefonul T. Condensatorul variabil servește pentru a aduce la rezonanță (a acorda) circuitul oscilant al receptorului cu cel al emițătorului.

Funcționarea aparatului. Undele radio ale unui post de emisie, modulate, spre exemplu, în amplitudine, întîlnind antena receptorului îi cedează acesteia o parte din energia lor radiată. Ca urmare, în antena receptorului iau naștere oscilații electrice de înaltă frecvență identice cu cele din antena emițătorului. Aceste oscilații se reproduc prin inducție (fig. 66) în circuitul oscilant LCv. Aducînd acest circuit la rezonanță cu circuitul oscilant al emițătorului, oscilațiile recepționate vor avea amplitudinea maximă. Aceste oscilații urmează să fie transformate în oscilații sonore de către telefonul T — casca telefonică, sau difuzor. Datorită inerției mecanice mari, membrana telefonului nu poate urmări oscilațiile de înaltă frecvență ale curentului din circuit. Ea poate urmări însă valoarea medie a acestui curent, dacă această valoare nu este nulă și nici constantă, ci prezintă fie modulații (ca în radiofonie), fie întreruperi (ca în T.F.F.).

Deoarece oscilațiile de înaltă frecvență ale curentului din circuitul LCv sînt simetrice față de axa timpului (v. fig. 66), valoarea medie a curentului este nulă. Este necesară deci detectarea acestor oscilații, fie prin eliminarea unei alternanțe, fie prin atenuarea ei. Acest rol îl are detectorul D, montat în serie cu telefonul. Curentul detectat este un curent pulsant compus din componenta de înaltă frecvență ce provine din oscilațiile purtătoare și componenta de joasă frecvență a curentului microfonic. Componenta de joasă frecvență trece cu ușurință prin bobinele telefonului și va acționa asupra membranei, care va reproduce semnalele sonore emise. Componenta de înaltă frecvență întîmpină din partea bobinelor telefonului o reactanță mare ($XL = \omega L = 2\pi f \cdot L$). Datorită acestui fapt s-ar degaja o cantitate mare de căldură la trecerea acestei componente prin bobine. Aceasta ar duce la demagnetizarea magnetului telefonului. De aceea se montează în paralel cu telefonul un condensator C_1 (de 2 000—3 000 pF), pentru a deriva prin el componenta de înaltă frecvență. (Se știe că reactanța conden-

Scanned with OKEN Scanner

satorului este invers proporțională cu frecvența curentului: $X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$). Detectarea oscilațiilor modulate, de înaltă frecvență, mai este numită și *demodularea oscilațiilor*, deoarece, prin detecție, semnalele modulatoare sînt extrase din semnalul complex și se regăsesc în curentul mediu obținut.

Receptorul descris mai sus prezintă dezavantajul că semnalele recepționate, fiind foarte slabe, nu pot fi auzite de mai mulți auditori. Pentru a înlătura acest neajuns pot fi folosite, pentru detecție, triode care, după cum am văzut, permit și amplificarea semnalelor.

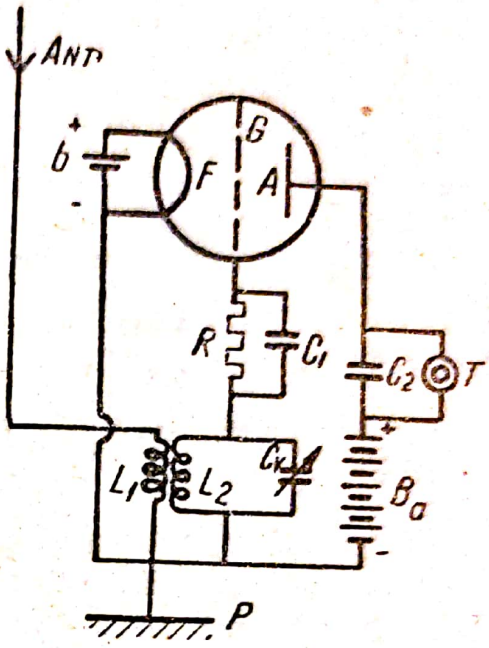


Fig. 67. Radiorecepția cu triodă (detecția pe grilă).

Un astfel de radioreceptor este reprezentat în figura 67. Acest montaj este asemănător cu cel din figura 62. Circuitul oscilant L_2Cv este montat în locul sursei de tensiune electromotoare alternativă care urmează să fie detectată. Rolul rezistenței de sarcină (impedanței) îl are telefonul (sau difuzorul) legat în paralel cu condensatorul C_2 (cu aceeași destinație ca C_1 din figura 66). Montajul din figura 67 este un montaj de detecție pe grilă. Spre deosebire de montajul din figura 62, în acest montaj rezistența de scurgere este montată în paralel cu condensatorul C_1.

49. **Noțiuni despre tranzistoare.** Deși tuburile electronice prezintă o mare importanță practică, totuși prezintă și multe inconveniente, ca: volum mare, durată de funcționare relativ mică, consum apreciabil de energie electrică, o dată pentru a provoca emisia de termoelectroni, prin încălzirea catodului și a doua oară pentru a antrena acești electroni spre anod. În urma unor îndelungate cercetări, în 1949, s-a constatat că se poate realiza o amplificare a oscilațiilor electrice și cu ajutorul unor elemente semiconductoare solide, dacă ele sînt preparate în mod corespunzător. Aceste elemente sînt *tranzistoarele* care sînt mai economice și au o

durată de funcționare incomparabil mai lungă decît un tub electronic.

Să vedem ce este un tranzistor. În acest scop să ne reamintim că acele semiconductoare cu impurități care prezintă o conductibilitate electrică prin goluri poartă numele de *semiconductoare de tip p*, iar cele care prezintă o conductibilitate electronică se numesc *semiconductoare de tip n* (v. tema „Semiconductoare" din fizica de clasa a X-a). Dacă se prepară un semiconductor cu impurități astfel încît să conțină trei regiuni alăturate: fie *pnp*, fie *npn*, un astfel de

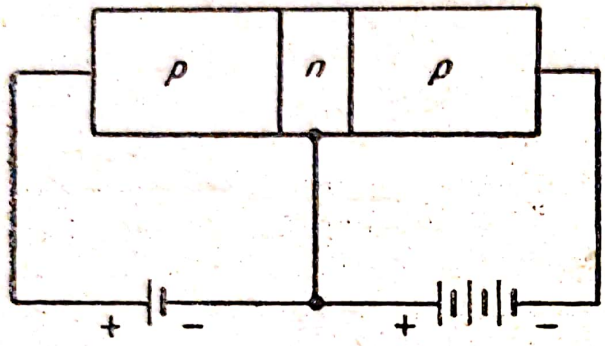


Fig. 68. Alimentarea în sens direct a joncțiunii din stînga și în sens invers a joncțiunii din dreapta.

semiconductor se numește tranzistor. În cele ce urmează va fi vorba de tranzistorul de tip pnp. După cum arată și numele, acest tranzistor este alcătuit dintr-o regiune *n* avînd de o parte și de cealaltă cîte o regiune *p* (v. fig. 68); grosimea regiunii *n* este de cel mult 1 mm. Acestui mod de aranjare îi corespund două joncțiuni: *pn* și *np*. Ca urmare, cînd tranzistorul va fi alimentat cu o tensiune electrică, o joncțiune, spre exemplu, cea din stînga (fig. 68), va fi alimentată în sens direct, iar cealaltă în sens invers.

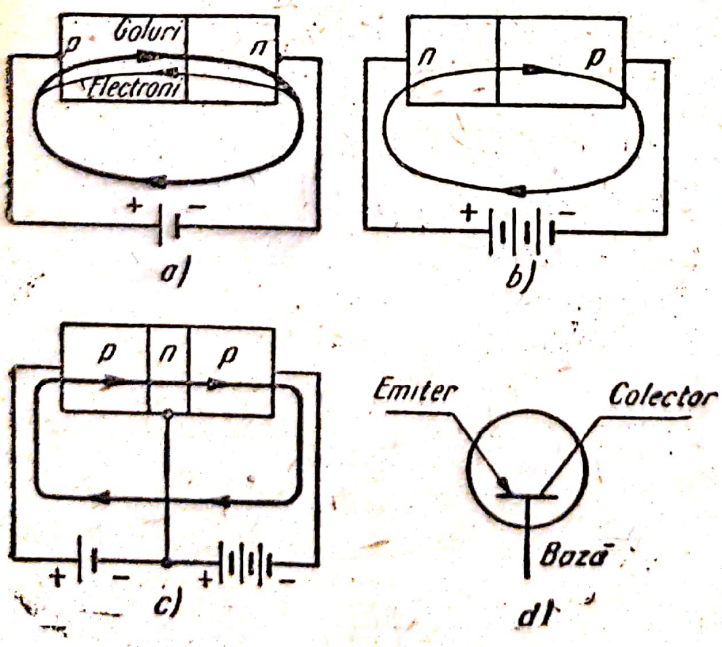


Fig. 69. Funcționarea tranzistorului *pnp* și reprezentarea sa convențională.

Cum funcționează tranzistorul? Dacă i se aplică joncțiunii *pn*, separat, o tensiune (fig. 69,*a*) directă destul de mică, prin joncțiune va circula un curent electric de intensitate mare. Acest

curent este determinat de golurile și electronii care trec dintr-o regiune în cealaltă. Prin dozarea mai mare a regiunii *p* cu impurități acceptoare decît a regiunii *n* cu impurități donoare, contribuția golurilor va fi mai importantă decît a electronilor. Joncțiunea fiind alimentată separat în sens invers (fig. 69, *b*), deși cu o tensiune mare, curentul care străbate va fi foarte slab, regiunea de trecere avînd o rezistență foarte mare. Dacă se alimentează însă tranzistorul ca în figura 69, *c*, atunci golurile care trec din regiunea *p* în regiunea *n*, care este foarte subțire, o vor străbate trecînd prin joncțiunea *np* în regiunea *p* din dreapta (fig. 69,*c*). În felul acesta, curentul de goluri străbate întregul tranzistor.

Deoarece atît curentul electronic al joncțiunii *pn* cît și curentul invers al joncțiunii *np* sînt neglijabili, în mod practic, tranzistorul este străbătut de curentul de goluri al joncțiunii *pn* (din stînga). Regiunea *p*, a joncțiunii *pn* se numește *emiter* (emițător), pentru că de aici pleacă golurile; regiunea *n* se numește *bază*, iar regiunea *p* a joncțiunii *np* se numește *colector* deoarece culege golurile care au trecut prin regiunea *n*. Cu aceste denumiri date celor trei regiuni, joncțiunea *pn* se va numi și ea joncțiunea *emiterului*, iar joncțiunea *np* — *joncțiunea colectorului*. Reprezentarea simbolică a tranzistorului *pnp* este dată în figura 69, *d*. Înserînd în circuitul emiterului o sursă de tensiune alternativă foarte mică, iar în circuitul colectorului o rezistență de sarcină mare, experiența demonstrează că la bornele acestei rezistențe se culege o tensiune alternativă amplificată. Deci, tranzistorul are proprietatea de a amplifica, la fel ca trioda. De asemenea, el poate îndeplini și funcțiunile de oscilator și detector. Între elementele triodei și ale tranzistorului se poate deci stabili următoarea analogie:

a. *Trioda*	b. *Tranzistorul*
1 — Catod	— emiter;
2 — Grilă	— bază;
3 — Anod	— colector.

De remarcat faptul că atît tranzistoarele cît și diodele semiconductoare pot fi cu joncțiuni și cu contacte punctiforme.

Proprietățile de mai sus, împreună cu un consum redus, durată mare de funcționare, volum mic etc., au făcut ca tranzistoarele să capete o foarte largă utilizare, în afară de

Scanned with OKEN Scanner

aparatele de radio și televiziune, la mașinile cibernetice, în telecomandă etc. În țara noastră s-a început la uzinele „Electronica" din București producția de diode semiconductoare și de tranzistoare necesare atît pentru fabricarea de aparate de radio cît și pentru dispozitivele de automatizare a industriei.

RADIOLOCAȚIA

50. **Noțiuni de radiolocație.** Prin folosirea tuburilor electronice s-au putut obține unde electromagnetice de la cele mai joase pînă la cele mai înalte frecvențe. Undele de frecvență foarte mare se numesc *unde ultrascurte*. Lungimea lor de undă este de ordinul metrilor și fracțiunilor de metru. Aceste unde se propagă în linie dreaptă și au viteza egală cu a luminii. Dacă întîlnesc în drumul lor un obstacol, se reflectă, iar cînd trec prin suprafața de separare a două medii se refractă. De asemenea, suferă fenomenele de interferență și difracție. Pe lîngă aceste proprietăți comune tuturor undelor electromagnetice, undele ultrascurte pot fi dirijate într-un fascicul îngust într-o anumită direcție. Datorită acestei proprietăți, undele ultrascurte sînt folosite în *radiolocație*.

Radiolocația este o ramură importantă a radiotehnicii și *se ocupă cu descoperirea obstacolelor din aer, din apă sau de la suprafața pămîntului, determinîndu-le poziția, în orice condițiuni meteorologice, atît ziua cît și noaptea*. Principiul fundamental al radiolocației este fenomenul de reflexie. Aplicațiile practice ale acestei descoperiri au devenit posibile numai după perfecționarea tuburilor electronice și dezvoltarea tehnicii undelor ultrascurte și a sistemelor de antene. Recepționînd undele reflectate de un obstacol, putem să-i descoperim și să-i determinăm poziția. Există mai multe metode de funcționare a stațiilor de radiolocație, dintre care cea mai folosită este metoda impulsurilor, care se bazează pe fenomenul de radio-ecou, analog ecoului sonor folosit în unele aparate pentru determinarea adîncimilor mărilor etc. Părțile componente ale unei stații de radiolocație sînt următoarele: modulatorul, emițătorul, receptorul, comutatorul de antenă, și antena de o construcție specială. Emițătorul, cu acțiune prin impulsuri, creează periodic oscila-

Scanned with OKEN Scanner

ții de înaltă frecvență de scurtă durată. Prin antenă este emisă o cantitate determinată de energie electromagnetică, numită *impuls*. Această energie radiată în spațiu de antenă, într-o anumită direcție, sub formă de unde, dacă întîlnește în drum un obstacol, de exemplu, un avion, o parte se reflectă și este recepționată de aceeași antenă care servește atît pentru emisiune cît și pentru recepție. Impulsul reflectat este mult mai slab decît cel incident. Recepționarea impulsurilor reflectate are loc în intervalul de timp dintre emisia a două impulsuri succesive.

Notînd cu s distanța de la stație pînă la obstacol, cu c viteza undelor, care este egală cu viteza luminii, putem determina intervalul de timp T dintre începutul radiației emițătorului și sosirea radioecoului, din relația $T = \frac{2s}{c}$, ținînd seama că, în timpul T, unda incidentă și unda reflectată parcurg această distanță dus-întors, cu viteza c. Cunoscînd timpul T, putem afla distanța $s = \frac{c \cdot T}{2}$.

Această problemă este rezolvată automat și distanța s este indicată pe ecranul unui tub catodic ce intră în construcția receptorului stației. Tubul catodic este alcătuit dintr-un tub cilindric din sticlă, asociat cu un trunchi de con (ca în figura 70, *a*), în care s-a făcut un vid înaintat. În interior se găsesc mai mulți electrozi cu diferite destinații. Astfel, la capătul tubului cilindric se găsește *catodul*, sau sursa de electroni, de formă cilindrică. În jurul catodului se găsește un cilindru metalic coaxial, avînd un orificiu cu centrul situat pe axa comună. Acest electrod se numește grilă sau electrod de comandă și i se aplică o tensiune negativă, de ordinul a cîtorva zeci de volți. Rolul său este ca, prin cîmpul electric creat între acest electrod și catod, să concentreze fluxul de electroni ce iese din catod, într-un fascicul dirijat. În același timp, prin variația negativării grilei se poate varia intensitatea fasciculului electronic, întocmai ca la triodă.

Fasciculul electronic, plecat de la catod, ar ajunge pe ecranul situat pe fundul tubului ca fascicul divergent. Pentru a se împiedica aceasta și a se obține o focalizare netă pe ecran se folosesc doi electrozi de formă cilindrică, cel de-al doilea cu un diametru mai mare, cărora li se aplică tensiuni pozitive diferite, de cîteva sute sau mii de volți. Acești electrozi constituie *anozii* de focalizare și accelerare.

ții de înaltă frecvență de scurtă durată. Prin antenă este emisă o cantitate determinată de energie electromagnetică, numită *impuls*. Această energie radiată în spațiu de antenă, într-o anumită direcție, sub formă de unde, dacă întîlnește în drum un obstacol, de exemplu, un avion, o parte se reflectă și este recepționată de aceeași antenă care servește atît pentru emisiune cît și pentru recepție. Impulsul reflectat este mult mai slab decît cel incident. Recepționarea impulsurilor reflectate are loc în intervalul de timp dintre emisia a două impulsuri succesive.

Notînd cu s distanța de la stație pînă la obstacol, cu c viteza undelor, care este egală cu viteza luminii, putem determina intervalul de timp T dintre începutul radiației emițătorului și sosirea radioecoului, din relația $T = \frac{2s}{c}$, ținînd seama că, în timpul T, unda incidentă și unda reflectată parcurg această distanță dus-întors, cu viteza c. Cunoscînd timpul T, putem afla distanța $s = \frac{c \cdot T}{2}$.

Această problemă este rezolvată automat și distanța s este indicată pe ecranul unui tub catodic ce intră în construcția receptorului stației. Tubul catodic este alcătuit dintr-un tub cilindric din sticlă, asociat cu un trunchi de con (ca în figura 70, *a*), în care s-a făcut un vid înaintat. În interior se găsesc mai mulți electrozi cu diferite destinații. Astfel, la capătul tubului cilindric se găsește *catodul*, sau sursa de electroni, de formă cilindrică. În jurul catodului se găsește un cilindru metalic coaxial, avînd un orificiu cu centrul situat pe axa comună. Acest electrod se numește grilă sau electrod de comandă și i se aplică o tensiune negativă, de ordinul a cîtorva zeci de volți. Rolul său este ca, prin cîmpul electric creat între acest electrod și catod, să concentreze fluxul de electroni ce iese din catod, într-un fascicul dirijat. În același timp, prin variația negativării grilei se poate varia intensitatea fasciculului electronic, întocmai ca la triodă.

Fasciculul electronic, plecat de la catod, ar ajunge pe ecranul situat pe fundul tubului ca fascicul divergent. Pentru a se împiedica aceasta și a se obține o focalizare netă pe ecran se folosesc doi electrozi de formă cilindrică, cel de-al doilea cu un diametru mai mare, cărora li se aplică tensiuni pozitive diferite, de cîteva sute sau mii de volți. Acești electrozi constituie *anozii* de focalizare și accelerare.

Primul anod este prevăzut cu una sau mai multe diafragme, cu orificii înguste, pentru a înlătura electronii marginali care sînt greu de focalizat. Sub acțiunea cîmpului creat de

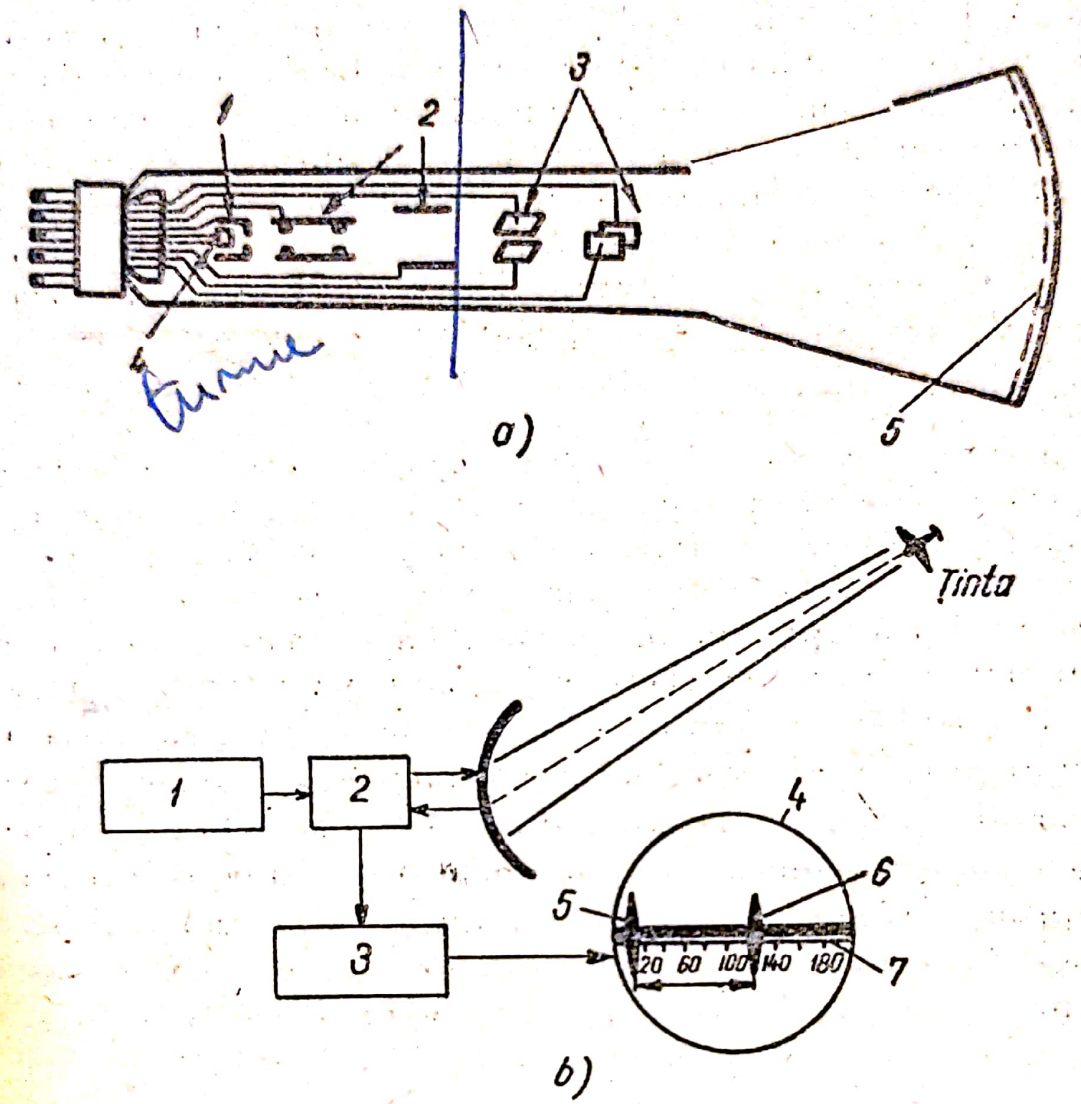


Fig. 70. Radiolocația.

a — Oscilograf catodic: *1* — grilă (electrodul de comandă); *2* — primul și al doilea anod; *3* — plăcile pe deviere; *4* — catod; *5* — ecran.
b — Schema de funcționare a unei stații de radiolocație: *1* — emițător; *2* — comutator antenă; *3* — receptor; *4* — indicator; *5* — impuls direct; *6* — impuls reflectat; *7*—scala de distanță.

electrozi, electronii sînt accelerați și în același timp converg într-un fascicul foarte subțire numit *rază catodică*. (Cei doi electrozi, prin cîmpul electric creat, au deci rolul unei lentile optice convergente.) Sistemul de electrozi format din catod, grilă și anozii de accelerare constituie așa-numitul *tun electronic* al tubului catodic.

Ieșind din cilindrii acceleratori, electronii se mișcă mai departe cu viteză constantă și trec printre-două perechi de

plăci paralele care alcătuiesc *sistemul de deflexie* (de deviere). Prima pereche de plăci este orizontală și deviază raza catodică în plan vertical, cînd li se aplică o tensiune electrică. A doua pereche de plăci, verticale, deviază raza catodică în plan orizontal. După ce iese dintre aceste plăci, fasciculul electronic cade pe fundul tubului, care este acoperit cu o substanță fluorescentă (luminofor) cu granulație fină. În general se folosesc sulfuri de zinc, cu un adaos foarte mic de substanță activantă (Ag sau Cu). Sub bombardamentul electronilor, substanța fluorescentă se ilumineză. Pătura de sulfură este pusă în legătură cu un strat conductor de grafit coloidal sau de argint, depus pe pereții laterali ai tubului în regiunea în care nu sînt electrozi. Acest strat este pus în legătură cu pămîntul, pentru ca electronii care se așază pe pereții interiori ai tubului să se scurgă la pămînt. Totodată mai are și rolul de a proteja parțial fasciculul electronic de acțiunea cîmpurilor electrice exterioare (ecran electric). Dacă aplicăm în același timp tensiuni variabile pe ambele perechi de plăci deflectoare, pe ecranul fluorescent se obțin curbe luminoase, care ne arată cum variază tensiunile aplicate plăcilor. Luminozitatea acestor curbe depinde de intensitatea fasciculului electronic. Aceste curbe fotografiate se numesc oscilograme. Acest aparat realizat cu ajutorul tubului catodic se numește *oscilograf catodic*. Folosit la receptorul stației de radiolocație, pe ecranul tubului catodic apare atît impulsul incident cît și impulsul reflectat distanța dintre cele două impulsuri, redusă la scară, reprezintă fie distanța dintre țintă și stație, fie intervalul de timp necesar ca semnalul să parcurgă distanța stație-țintă, dus-întors.

Antena stației poate fi rotită în orice direcție, concentrează undele emise numai în direcția aleasă și recepționează numai undele din această direcție. Există diferite tipuri de radiolocatoare, după destinația lor. Aceste radiolocatoare se pot instala pe avioane, vapoare și mașini.

Radiolocația mai este cunoscută și sub numele de *radar*. Acest cuvînt cuprinde și definiția și principiul radiolocației. Regăsirea aceluiași cuvînt prin citirea lui de la sfîrșit către început simbolizează principiul ecoului, iar denumirea prescurtată *radar* exprimă definiția: aflarea direcției și a distanței prin radio (în englezește: radio *d*irectionning *a*nd *r*anging).

Scanned with OKEN Scanner

Pe măsură ce cunoștințele și tehnica în domeniul undelor electromagnetice avansează, se mărește raza de acțiune a radiolocatoarelor și se construiesc tipuri noi de radiolocatoare.

RADIOTEHNICA

Din cele studiate pînă acum ne putem da seama, în mare măsură, de multiplele aplicații ale undelor electromagnetice. Ramura electrotehnicii care se ocupă cu studiul teoriei și folosirii în practică a undelor electromagnetice și a curenților de înaltă frecvență s-a numit *radiotehnică*. Deși este o știință destul de tînără, radiotehnica s-a dezvoltat rapid, luînd ființă numeroase ramuri ale ei, ca: radiodifuziunea, telecomunicațiile, telefotografia, televiziunea, radiolocația, tehnica mașinilor electronice de calcul, telecomanda etc. În cele ce urmează vom face cunoștință cu unele aplicații ale radiotehnicii: în știință, industrie și în opera de culturalizare a maselor.

51. **Importanța radiotehnicii.** 1) *În știință*. Pe lîngă aplicațiile sale în scopuri practice, radiotehnica este folosită și în cercetările științifice în diferite domenii. Așa, de exemplu, se folosește în cercetările astronomice. Ramura radiotehnicii cunoscută sub numele de *radioastronomie* ajută pe astronomi să studieze meteoriții și să cunoască proprietățile și caracterul mișcării stelelor și mediului interstelar. Datorită radioastronomiei s-au putut măsura cu precizie distanțele la diferite corpuri cerești (de exemplu, măsurarea distanței pînă la Lună, efectuată pentru prima dată în 1946 etc.).

O altă aplicație a radiotehnicii este întîlnită în cercetarea compoziției corpurilor cu ajutorul analizei spectrale, unde, alături de radiațiile vizibile, se pot folosi și undele radio. Ramura radiotehnicii care se ocupă de acest studiu se numește r a d i o s p e c t r o s c o p i e. Radiospectroscopia se bazează pe principiul absorbției undelor electromagnetice de către substanțe și se aplică la determinarea compoziției amestecurilor de gaze, permițînd atît o analiză calitativă cît și cantitativă.

Scanned with OKEN Scanner

În meteorologie, cu ajutorul radiotehnicii, folosind radiosondele și radarul, meteorologii pot studia starea atmosferei și condițiile de propagare a undelor de radio.

Medicina folosește curenții de înaltă frecvență în scopuri terapeutice. Generatoarele de curenți în formă de impulsuri sînt folosite pentru a readuce la viață oameni aflați în stare de moarte aparentă, pentru efectuarea respirației artificiale etc. Curenții de înaltă frecvență se mai folosesc în tratarea rănilor, arsurilor, durerilor de cap, pentru încălzirea diferitelor organe interne ale omului, în scopul vindecării rapide a unor boli, ca: pneumonia, pleurita, diferite boli de inimă ș.a.

Radiotehnica este necesară și în construcția mașinilor electronice de calculat, care ușurează activitatea calculatorilor. Astfel de mașini pot efectua, într-un timp extrem de scurt, un număr foarte mare de operații matematice. Se cunosc două feluri de mașini de calcul: mașini cifrice, care operează cu numere reprezentate prin cifre, iar soluția este dată tot sub forma unui număr și mașini analogice sau modele. Mașinile analogice se numesc așa de la cuvîntul analogie (asemănare) și se deosebesc de mașinile cifrice prin faptul că operează asupra unor mărimi fizice: tensiune, curent etc. care variază în mod continuu și uniform.

O însemnată contribuție a radiotehnicii este de asemenea în fizica nucleară, la construcția acceleratorilor de particule elementare, și în realizarea sateliților artificiali și rachetelor cosmice.

2) *În industrie*. În afara aplicațiilor în cercetările științifice, radiotehnica este folosită și în scopuri industriale. Una dintre aceste aplicații este încălzirea corpurilor metalice și nemetalice cu ajutorul curenților de înaltă frecvență. Acest fel de încălzire oferă avantaje în plus față de încălzirea în cuptorul electric. Spre deosebire de încălzirea în cuptoarele electrice, unde se folosește efectul termic al curentului care trece printr-un conductor, sau de încălzirea în cuptoare obișnuite cu combustibil unde se folosește energia de ardere a combustibililor, prin încălzirea cu unde electromagnetice se folosește energia cîmpului electromagnetic care ia naștere în circuitul oscilant. Diferitele corpuri introduse într-un

Scanned with OKEN Scanner

cîmp electromagnetic de înaltă frecvenţă se comportă în mod diferit. Astfel, pe cînd corpurile conductoare (de exemplu, metalele) vor suferi o încălzire rapidă, superficială (dacă timpul de încălzire este scurt), corpurile izolante se vor încălzi uniform în toată masa lor. Această proprietate este folosită pe scară largă pentru topirea metalelor, spre a se obţine aliaje de calitate superioară (aliaje magnetice uşoare sau aliaje greu fuzibile), precum şi pentru călirea superficială a pieselor de oţel, spre a li se mări rezistenţa şi duritatea. Astfel de piese sînt: sculele de aşchiere, arborii cotiţi de la maşini, roţile dinţate etc.

Piesele de felul celor de mai sus trebuie să aibă numai suprafaţa dură, pe cînd interiorul trebuie să rămînă moale, necălit, pentru ca piesa să nu devină casantă. O astfel de călire se poate face foarte uşor cu ajutorul undelor de înaltă frecvenţă, care induc, în straturile superficiale ale piesei, curenţi alternativi de aceeaşi frecvenţă, foarte intenşi. Dacă încălzirea piesei durează puţin timp, atunci căldura nu se va putea transmite straturilor interioare, care vor rămîne relativ reci. Cufundînd apoi piesa în ulei, stratul superficial se va căli şi va deveni dur, iar straturile interioare vor rămîne moi. Faţă de metodele obişnuite, călirea cu ajutorul undelor electromagnetice prezintă multe avantaje. De exemplu: piesele nu se deformează la încălzire, se îmbunătăţeşte calitatea lor, se măreşte productivitatea muncii, muncitorii lucrează în condiţii mai bune etc.

Undele elctromagnetice permit sudarea metalelor cu sticla şi ajută la ridicarea calităţii sudurii electrice obişnuite a metalelor, trecîndu-se prin locul de sudură şi un curent alternativ de înaltă frecvenţă.

Folosind undele electromagnetice pentru încălzirea corpurilor nemetalice, de exemplu, în industria olăritului sau în industria de prelucrare a lemnului se obţin produse de calitate superioară. De asemenea, încălzirea cu ajutorul curenţilor de înaltă frecvenţă poate fi utilizată şi în industria alimentară, fie pentru uscarea unor produse (de exemplu: macaroane, ceai, tutun) sau coacerea unor produse de panificaţie, fie pentru sterilizarea conservelor.

Undele electromagnetice mai sînt folosite şi în controlul calităţii produselor. De asemenea, radiotehnicii îi revine un rol hotărîtor în automatizarea producţiei industriale.

Scanned with OKEN Scanner

3) *În agricultură* radiotehnica poate fi folosită pentru distrugerea insectelor dăunătoare. Această aplicație se bazează pe acțiunile fiziologice ale undelor. Tot pe baza acțiunilor fiziologice, undele electromagnetice pot fi aplicate în tratarea larvelor viermilor de mătase, obținîndu-se o mărire a cantității de mătase cu 20—30%.

Supunînd plantele unei iradieri cu unde electromagnetice se accelerează creșterea și dezvoltarea lor, obținîndu-se recolte bogate. Experiențele efectuate în acest scop au fost reușite.

Tot cu ajutorul undelor electromagnetice, folosind aparatele de emisie-recepție, S.M.T-urile pot comunica cu brigăzile de tractoriști, realizîndu-se astfel o conducere operativă a muncilor agricole.

4) *Folosirea radiotehnicii pentru culturalizare. Dezvoltarea radiotehnicii și radioficării în R.P.R.* Ramura radiotehnicii cunoscută sub numele de r a d i o d i f u z i u n e joacă un mare rol în viața societății, deoarece constituie unul dintre cele mai puternice mijloace de educație politică și culturală a maselor, contribuind la formarea omului de tip nou, multilateral dezvoltat. În acest scop, în anii regimului de democrație populară a luat ființă și s-a dezvoltat în țara noastră industria de aparate de radiorecepție și televizoare, s-a trecut la fabricarea de piese detașate de radio, s-a mărit numărul stațiilor de emisiune, instalațiile vechilor posturi au fost modernizate, iar emisiunile radiodifuziunii au căpătat un conținut nou, socialist. De asemenea a luat ființă postul de televiziune și s-au construit un număr de stații de retranslație a programului de televiziune al postului central. S-au construit studiouri noi, bine utilate și s-au instalat numeroase centre de radioficare în orașe și sate. La un astfel de centru se află un radioreceptor bun, care recepționează programul posturilor centrale. Acest program este amplificat și transmis prin fir, abonaților. La abonat este instalat un difuzor, prevăzut cu un dispozitiv de reglare a intensității sunetului.

Astăzi, în țara noastră, radioul, ca și alte cuceriri ale științei, servesc la ridicarea nivelului de viață și cultură al maselor largi de oameni ai muncii.

Scanned with OKEN Scanner

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Cum se explică descărcarea oscilatorie a condensatorului?
2. Ce se numește circuit oscilant?
3. Ce se înțelege prin oscilații amortizate?
4. Ce se înțelege prin rezonanța electrică și ce importanță prezintă?
5. De cîte feluri sînt circuitele oscilante și ce avantaje prezintă circuitul oscilant deschis?
6. Ce se numește cîmp electromagnetic?
7. Ce sînt undele electromagnetice?
8. Care sînt proprietățile undelor electromagnetice?
9. Ce este antena și la ce folosește?
10. Cum este construită, cum funcționează și ce aplicații are dioda?
11. Cum este construită, cum funcționează și care sînt aplicațiile triodei?
12. Ce se înțelege prin factor de amplificare?
13. Ce aplicații au undele electromagnetice?
14. Care sînt părțile unui radioemițător?
15. Cum este construit cel mai simplu receptor cu cristal?
16. Ce se înțelege prin modulație?
17. Ce se înțelege prin detecție?
18. Care este mecanismul de funcționare a receptorului?
19. Cum funcționează emițătorul radio?
20. Ce este și cum funcționează tranzistorul?
21. Ce este radiolocația?

PROBLEME

1. Un condensator cu capacitatea de 555,5 p F este încărcat de la o baterie anodică pînă la o tensiune oarecare. Condensatorul se descarcă apoi printr-o bobină cu inductanța de 0,012 henry. Să se calculeze perioada oscilațiilor produse.

R. $1{,}6 \cdot 10^{-5}$ s.

2. Într-un circuit oscilant se produc oscilații electromagnetice cu frecvența de 4 000 Hz; capacitatea condensatorului este de 1 111,1 pF. Să se calculeze inductanța bobinei folosite.

R. 1,42 H.

3. Un circuit oscilant emite unde electromagnetice cu lungimea de undă de 628 m. Știind că bobina este de $4 \cdot 10^{-4}$ henry, să se afle capacitatea condensatorului.

R. $C = 277{,}7 \cdot 10^{-12}$ F.

4. Un radiolocator descoperă în raza sa de cercetare o țintă. Știind că intervalul de timp de la emisia impulsului și pînă la sosirea impulsului reflectat este de $4 \cdot 10^{-4}$ s, să se calculeze depărtarea țintei de stație ($c = 3 \cdot 10^5$ km/s).

R. 60 km.

Scanned with OKEN Scanner

III

A. OPTICĂ GEOMETRICĂ

NOȚIUNI INTRODUCTIVE

OPTICA

OPTICA este acea parte a *fizicii* care se ocupă cu studiul fenomenelor luminoase. Ea a luat naștere ca o încercare a oamenilor de a răspunde la întrebarea: de ce omul poate se vadă obiectele ce-l înconjură? Pe anumite trepte de dezvoltare a societății au apărut diferite teorii care au încercat să explice natura luminii, teorii pe ca le vom cunoaște la momentul potrivit. Astăzi, știm că *lumina este o formă specială a materiei în mișcare* și, ca orice formă a materiei, posedă energie. Această energie o numim *energie luminoasă* sau *energie radiantă*. Lumina ajută omului să cunoască lumea înconjurătoare. Construind microscoape și telescoape puternice omul a putut pătrunde în tainele microcosmosului și macrocosmosului, a putut cunoaște celula și structura atomului, ca și compoziția aștrilor situați la distanțe enorme de Pământ. Lumina primită de la soare este aceea care întreține viața pe pământ. Din cele spuse mai sus ne dăm seama de importanța pe care o prezintă studiul opticii. Optica se poate divide în două părți:

A. *Optica geometrică*, ce se ocupă cu studiul fenomenelor optice care pot fi explicate cu ajutorul propagării rectilinii a luminii.

B. *Optica fizică* studiază problema naturii luminii și fenomenele legate de aceasta. În studiul pe care îl vom întreprinde, vom divide și această parte a opticii în două subdiviziuni:

1) optica ondulatorie;
2) optica fotonică.

Scanned with OKEN Scanner

52. **Viteza de propagare a luminii și determinarea ei.** Determinarea vitezei de propagare a luminii este una dintre cele mai importante probleme ale opticii. Rezolvarea acestei probleme a fost deosebit de importantă pentru știință, în general, dar mai ales pentru fizică și astronomie. Dificultatea fundamentală de care s-au lovit cei care au încercat s-o determine este legată de valoarea ei foarte mare (3.10^5 km/s), care necesită mijloace experimentale cu totul deosebite de cele obișnuite. Din această cauză, primele încercări au eșuat și, ca urmare, vreme îndelungată s-a crezut că lumina se propagă instantaneu. Abia în anul 1675, astronomul danez Olaf Römer a reușit s-o determine pentru prima dată. După el, alți savanți, ca: Bradley (1730) Fizeau, (1849), Foucault (1862) etc. au studiat problema determinării vitezei luminii, ajungînd la rezultate aproape identice. În cele ce urmează vom studia determinarea vitezei luminii după *metoda lui Michelson*.

Metoda Michelson este o metodă fizică. Ca toate metodele fizice, această metodă constă în măsurarea intervalului de timp al trecerii luminii între două puncte de pe suprafața pămîntului, situate la o anumită distanță, unul față de altul. Ținînd seama de viteza enormă a luminii, măsurarea acestui interval de timp este foarte dificilă. Această dificultate a fost înlăturată în 1926 de fizicianul Michelson, prin dispozitivul a cărui schemă simplificată este reprezentată în figura 71. Lumina, care vine de la sursa S, este reflectată de fața oglinzii metalice rotitoare M, de forma unei prisme octogonale regulate. Lumina reflectată de fața *1* a oglinzii M este îndreptată, sub forma unui fascicul paralel, către oglinzile B, B'. Întregul dispozitiv a fost instalat pe vîrfurile a doi munți (Mt. Wilson și Mt. Antonio din California), la distanța de 35,4 km unul de altul. Lumina care cade pe oglinzile B și B', situate pe unul din vîrfuri, este din nou reflectată spre oglinda A, aflată pe același vîrf cu M, de unde, prin reflexie, ajunge pe

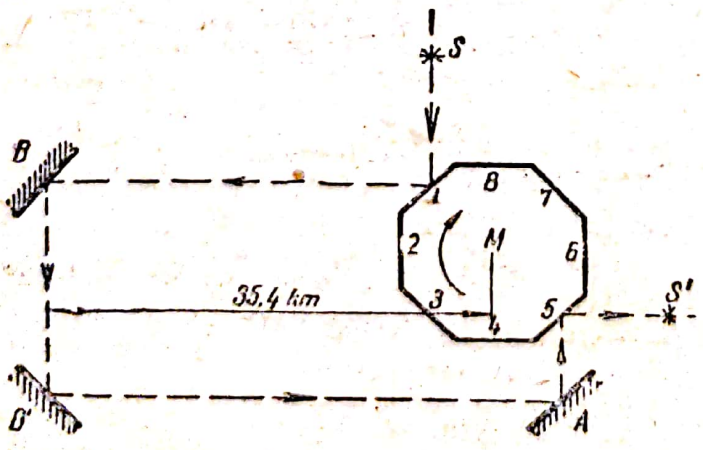


Fig. 71. Schema experienței lui Michelson.

Scanned with OKEN Scanner

fața *5* a oglinzii prismatice, cînd aceasta se află în repaus, și dă o imagine în S'. Rotind oglinda prismatică cu o astfel de viteză unghiulară, încît, în timpul cît lumina parcurge distanța dus-întors dintre cei doi munți, oglinda să se rotească cu 1/8 dintr-o rotație completă, în locul feței *5* se va găsi fața *6*, iar lumina reflectată va forma imaginea tot în S'. În realitate, fața *6* nu vine exact în locul feței *5*, astfel că imaginea S' apare puțin deplasată; această deplasare însă se poate măsura. Experiența are loc astfel: mai întîi observatorul prinde imaginea sursei S cînd oglinda rotitoare este în repaus, apoi se pune oglinda în mișcare și se variază viteza de rotație pînă la un anumit număr n de rotații pe secundă, cînd imaginea S' devine din nou vizibilă. În acest moment știm că oglinda s-a rotit cu 1/8 dintr-o rotație, în timpul propagării dus-întors a luminii. Deci, timpul necesar luminii pentru a parcurge dublul distanței dintre cei doi munți este $\frac{1}{8n}$. Cunoscînd distanța parcursă de lumină și timpul, se află viteza. Cu această metodă, Michelson a găsit valoarea de 299 711 km/s în aer, ceea ce corespunde, pentru propagarea în vid, unei viteze de 299 797,9 km/s. După ultimele măsurători, viteza luminii este de $2{,}997925 \cdot 10^8$ m/s. Cu aproximație putem să considerăm această viteză de 300 000 km/s sau $3 \cdot 10^8$ m/s. Măsurînd viteza luminii în apă, Michelson a găsit-o mai mică decît în vid. Același rezultat l-a găsit, în Franța, Foucault.

PROBLEME

1. Distanța dintre Soare și Pămînt fiind de $15 \cdot 10^7$ km, să se calculeze în cît timp ajunge lumina de la Soare pînă la Pămînt.

R. Pentru $c = 3 \cdot 10^5$ km/s, $t = \frac{8 \text{ min}}{20 \text{ s}}$.

2. În experiența lui Michelson, distanța dintre oglinda rotoare și oglinda B, B' este 35,4 km (fig. 71). Cunoscînd viteza luminii $c = 3 \cdot 10^5$ km/s, să se calculeze turația pe care trebuie s-o aibă oglinda M pentru ca observatorul să vadă lumina.

R. $\nu \approx 530 \text{ s}^{-1}$.

Scanned with OKEN Scanner

53. **Reflexia luminii și legile ei.** Ne amintim că ori de cîte ori un fascicul de raze de lumină întîlnește în drumul său o suprafață lucioasă a unui corp (oglindă, metal lustruit etc.), fasciculul își schimbă drumul, înapoindu-se în mediul din care a venit, după o direcție bine definită. Cînd lumina trece dintr-un mediu transparent (de exemplu, aer) în alt mediu transparent optic diferit (de exemplu, apă), se observă două fenomene care au loc simultan. O parte din lumină se înapoiază în primul mediu, iar altă parte se propagă în mediul al doilea, schimbîndu-și direcția.

Fenomenul schimbării direcției de propagare a luminii cînd întîlnește suprafața de separare a două medii diferite, rămînînd în mediul de unde a venit, se numește **reflexia** *luminii.* Considerînd, pentru a simplifica, o singură rază dintr-un fascicul, vom numi: raza care vine la suprafața de separare, *rază incidentă*; punctul în care raza incidentă întîlnește suprafața, *punct de incidență*; raza care se înapoiază în același mediu *rază reflectată*.

Legile reflexiei au fost stabilite pe baza propagării rectilinii și au fost cunoscute încă din timpul lui Euclide (sec. al III-lea î.e.n.). Deducerea lor este foarte simplă. În acest scop să efectuăm următoarea experiență (fig. 72): un disc alb gradat (numit discul Harțl) este prevăzut în centrul său cu o oglindă plană. Pe oglindă trimitem un fascicul îngust de raze paralele, care să întîlnească suprafața oglinzii în centrul discului, așa cum se vede în figură. Observăm că, ducînd normala *NI* la suprafața oglinzii în punctul de incidență (perpendiculara la suprafață), cele două raze—raza incidentă și raza reflectată — împreună cu normala se găsesc în planul discului, iar unghiul *AIN* dintre raza incidentă și normală (unghiul de incidență) este egal cu unghiul *BIN* dintre raza reflectată și normală (unghiul de reflexie). De aici rezultă cele două legi.

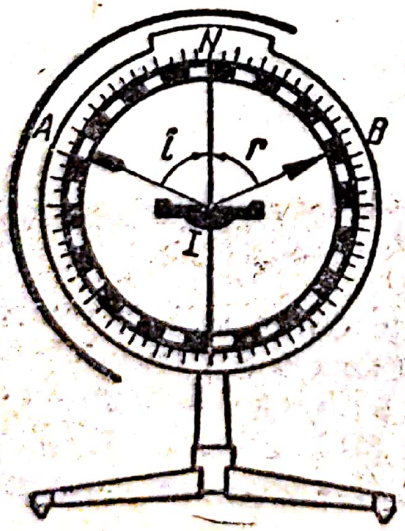


Fig. 72. Reflexia luminii. Demonstrarea legilor reflexiei.

Legea I: Unghiul de incidență i este egal cu unghiul de reflexie r.

Legea a II-a: raza incidentă, raza reflectată și normala la suprafața reflectantă în punctul de incidență sînt în același plan.

Cele două legi pot fi enunțate împreună sub forma următoare: *unghiul de incidență și unghiul de reflexie sînt egale și coplanare.*

Incidența normală. Dacă raza incidentă cade perpendicular pe suprafața reflectantă, raza reflectată are aceeași direcție cu raza incidentă ($i = r = 0$). Acest caz se numește *cazul incidenței normale.*

Observație: În figura 72 am considerat sursa în stînga, deci raza incidentă este AI, raza reflectată este IB. Tot așa de bine putem însă considera sursa în dreapta; atunci IB devine rază incidentă, iar AI devine rază reflectată. Cele două raze se numesc *raze reciproce.*

54. **Difuzia luminii.** Conform legilor reflexiei, razele paralele reflectate de o suprafață plană, perfect lucioasă, vor rămîne tot paralele, razele convergente vor rămîne tot convergente, iar razele divergente vor rămîne divergente. Demonstrațiile se pot face cu discul Hartl din figura 72. Dacă suprafața reflectantă prezintă asperități, atunci reflexia va fi neregulată (figura 73) sau d i f u z ă (fasciculul reflectat nu mai rămîne paralel). Acest fenomen este cunoscut sub numele de *difuzia luminii*. Difuzia luminii prezintă o deosebită importanță, întrucît ne permite să distingem conturul obiectelor înconjurătoare. Dacă toate obiectele ar avea suprafața perfect lucioasă n-am putea să le distingem conturul de la distanță.

55. **Oglinzi plane.** Înțelegem prin *oglindă* o suprafață netedă care reflectă regulat razele de lumină. Practic, o oglindă este o suprafață foarte bine lustruită. Dacă suprafața este plană, oglinda se numește p l a n ă , dacă suprafața face

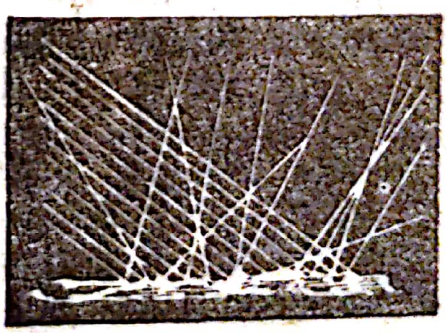


Fig. 73. Difuzia luminii.

Scanned with OKEN Scanner

parte dintr-o sferă, oglinda se numește s f e r i c ă. În mod obișnuit, oglinzile se fac din sticlă, iar în laborator se folosesc și oglinzi metalice, din metale bine lustruite.

a) *Formarea imaginii unui punct luminos într-o oglindă plană.* Fie oglinda plană MM' și punctul luminos S care trimite raze în toate direcțiile (fig. 74). Razele care cad pe oglindă se vor reflecta după legile reflexiei. Pentru a găsi, în oglindă, imaginea sursei punctiforme S este suficient să construim două raze incidente R_1 și R_2 care se vor reflecta

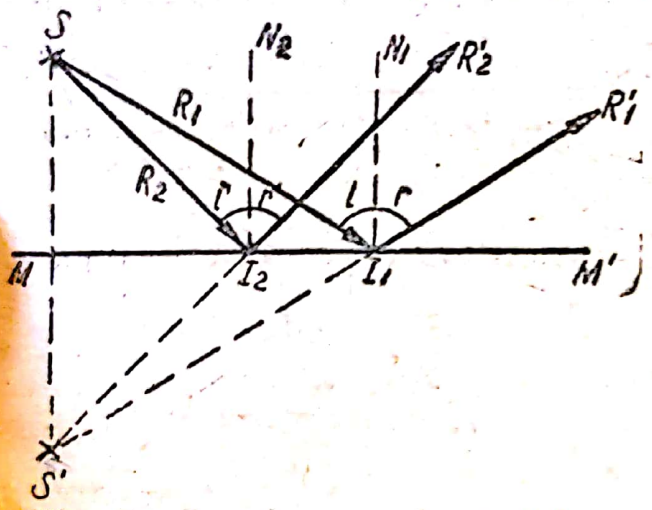


Fig. 74. Imaginea unui punct luminos dată de o oglindă plană.

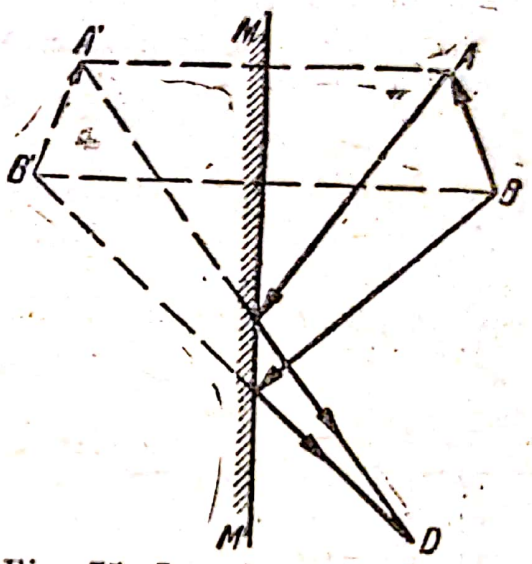


Fig. 75. Imaginea unui obiect dată de o oglindă plană.

în punctele I_1 și I_2 după direcțiile R'_1 și R'_2 urmînd legile reflexiei. Prelungind, în spatele oglinzii, razele reflectate, observăm că se intersectează în S'. Pentru observatorul care le privește, aceste raze par că pornesc din S', deoarece ochiul vede totdeauna sursa unei raze de lumină în prelungirea rectilinie a razei. Punctul S' reprezintă imaginea punctului S. O astfel de imagine nu poate fi prinsă pe un paravan, deoarece nu se formează la intersecția razelor reflectate (divergente), ci a prelungirilor lor. O astfel de imagine se numește *imagine virtuală*. În locul celor două raze oblice se poate lua numai una oblică, iar cealaltă normală la suprafața oglinzii (SS' din fig. 74). Prin considerații geometrice simple, găsim că această imagine este simetrică cu punctul S față de oglinda MM', adică distanța imaginii față de oglindă este egală cu distanța punctului față de oglindă.

b) *Imaginea unui obiect.* Fie oglinda MM' și obiectul AB așezat în față (fig. 75). Pentru a-i construi imaginea

este necesar și suficient să construim imaginile extremităților sale. Urmînd raționamentul construcției anterioare, găsim imaginile A' și B' ale punctelor A și B. Restul punctelor fiind cuprinse între A' și B', unim aceste două puncte și găsim imaginea $A'B'$ a obiectului AB. Observăm că și în acest caz imaginea este virtuală și este simetrică față de oglinda MM', care îndeplinește rolul unui plan de simetrie.

În concluzie: *oglinzile plane formează imagini virtuale și simetrice cu obiectul, față de planul oglinzii.*

56. **Oglinzi sferice.** *Înțelegem prin oglindă sferică o parte din suprafața unei sfere lucioase.* Oglinzile sferice sînt de două feluri:

a) *oglinzi concave*, la care suprafața reflectantă este partea interioară a sferei;

b) *oglinzi convexe*, la care suprafața reflectantă este partea exterioară a sferei.

Elementele geometrice ale oglinzilor sferice. La oglinzile sferice, atît la cele concave cît și la cele convexe, întîlnim următoarele elemente geometrice (fig. 76, *a* și *b*): 1) centrul de curbură C — centrul sferei din care face parte oglinda; 2) vîrful sau mijlocul oglinzii O; 3) axa optică principală OC — dreapta care trece prin mijlocul oglinzii și centrul de curbură; 4) axa secundară — orice dreaptă care trece numai prin

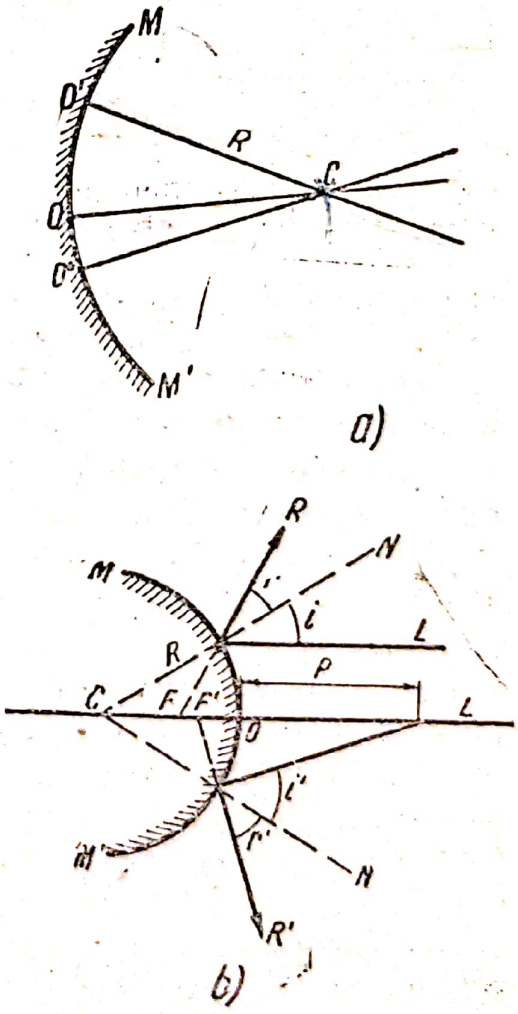


Fig. 76. Elementele geometrice ale oglinzilor sferice:
a — oglinda concavă; *b* — oglinda convexă.

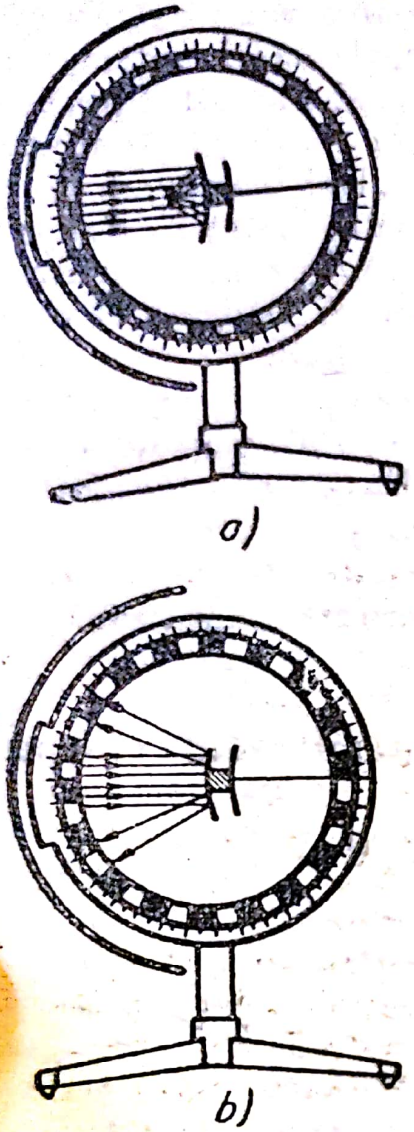


Fig. 77. Proprietățile oglinzilor sferice: *a* — razele de lumină, paralele cu axul optic principal sînt strînse în focar, după reflexie, de oglinda concavă; *b* — razele diverg, după reflexie, la oglinda convexă.

centrul de curbură $O'C$ sau $O''C$; raza de curbură a oglinzii e raza sferei R din care face parte oglinda.

Proprietățile oglinzilor sferice. Folosind același dispozitiv experimental din figura 72, în care am înlocuit oglinda plană cu una sferică, de exemplu, o oglindă concavă (fig. 77, *a*), să trimitem pe suprafața oglinzii concave un fascicul de raze paralele cu axa optică principală. Constatăm că razele reflectate sînt strînse într-un punct luminos situat pe axa optică principală.

Deci: *oglinzile concave au proprietatea de a strînge razele de lumină, paralele cu axa optică principală, după reflexie, într-un punct real numit focar principal.* Datorită acestei proprietăți, oglinzile concave se numesc *oglinzi convergente.*

Pe lîngă focarul principal, pentru fiecare axă secundară, există cîte un focar secundar.

Înlocuind oglinda concavă cu o oglindă convexă (fig. 77, *b*) și repetînd experiența pentru acest caz, constatăm că: *oglinda convexă are proprietatea de a transforma prin reflexie un fascicul paralel cu axa optică principală într-un fascicul divergent; prelungind imaginar aceste raze în spatele oglinzii, ele intersectează axa optică principală într-un punct virtual numit de asemenea focar principal.* Datorită acestei proprietăți, oglinzile convexe se numesc *oglinzi divergente.*

57. **Formarea imaginilor în oglinzile sferice.** a) *Imagini în oglinzi concave.* Oglinzile concave dau atît imagini reale

cît și imagini virtuale. Formarea imaginii unui obiect într-o oglindă concavă are loc după legile reflexiei. Să studiem cum se formează imaginea într-o oglindă concavă, mai întîi experimental. În acest scop ne folosim de o oglindă concavă așezată pe un suport, un ecran alb și o lumînare. Așezăm lumînarea aprinsă în fața oglinzii, cît mai departe de ea și prindem imaginea flăcării pe ecran. Așezăm ecranul astfel încît să nu împiedice formarea imaginii. Constatăm că imaginea este reală (se formează pe ecran), mai mică decît obiectul și răsturnată, iar distanța de la ecran pînă la oglindă este mai mică decît distanța de la lumînare pînă la oglindă. Apropiind lumînarea de oglindă, constatăm că imaginea începe să crească, rămînînd tot răsturnată și se depărtează de oglindă. La un moment dat, imaginea devine egală cu obiectul, apoi, pe măsură ce apropiem lumînarea de oglindă, imaginea flăcării se depărtează foarte mult de oglindă, rămînînd tot reală, răsturnată, dar mai mare decît obiectul. După cîtva timp, cînd lumînarea a fost apropiată suficient de mult de oglindă, oricît am încerca să prindem imaginea pe ecran nu reușim. În schimb, privind în oglindă, vedem imaginea dreaptă și mărită a flăcării. Ea este o imagine virtuală. Să trecem acum la construcția geometrică a imaginilor în diferite cazuri. În acest scop, pentru simplificarea construcției, considerăm obiectul reprezentat printr-o săgeată AB, așezată perpendicular pe axa optică principală, avînd extremitatea B pe axă. Pentru a construi imaginea acestui obiectiv este suficient să construim imaginile extremităților sale. Se întîlnesc mai multe cazuri.

Cazul I corespunde figurii 78, cînd obiectul este așezat la infinit. În acest caz, razele luminoase care vin de la obiect sînt paralele. După reflexie, aceste raze sînt strînse în focar. Deci, focarul constituie imaginea obiectului. Spunem că imaginea obiectului este punctiformă, reală, situată în focar. Este cazul imaginilor date de stele în telescopul cu oglindă.

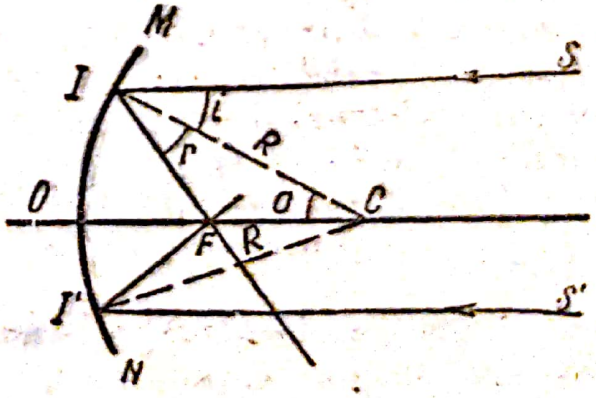


Fig. 78. Construcția geometrică a focarului.

Cazul al II-lea (fig. 79,*a*) — obiectul *AB* este situat dincolo de centrul de curbură. Pentru construcția imaginii considerăm razele: *AI*, paralelă cu axul optic principal, care după reflexie trece prin focar; *AC*, care trece prin centrul de curbură și cade pe suprafața oglinzii, reflectîndu-se după aceeași direcție *(CA)*; raza *BC* care se confundă cu axa optică principală și care, după reflexie, are aceeași direcție. Din figură se observă că raza reflectată *IF* și raza *AC* se intersectează în punctul *A'*, care este imaginea punctului *A*. Ridicînd din *A'* perpendiculara pe *BO*,

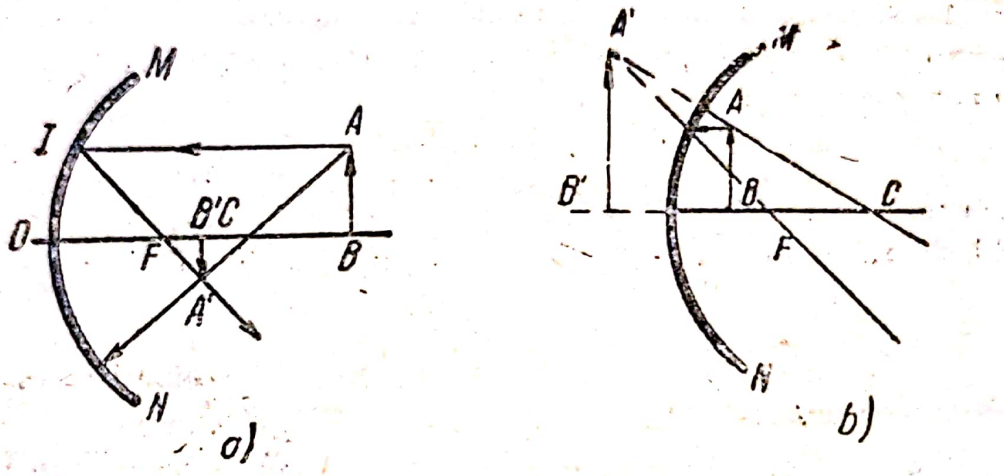


Fig. 79. Formarea imaginilor în oglinda concavă:
a — obiectul este așezat dincolo de centrul oglinzii;
b — obiectul este situat între focar și oglindă.

găsim punctul *B'*, imaginea lui *B*; segmentul *A' B'* este imaginea lui *AB*. Această imagine este reală, răsturnată și mai mică decît obiectul, situată între focar și centrul de curbură. Așezînd succesiv obiectul *AB* în centrul de curbură (cazul al III-lea), între centrul de curbură și focar (cazul al IV-lea) etc. și procedînd la fel, obținem imaginile în aceste cazuri. În cazul al III-lea vom obține o imagine reală, răsturnată și egală cu obiectul, situată în planul care trece prin centrul de curbură, perpendiculară pe axul optic. În cazul al IV-lea, imaginea este reală, răsturnată și mai mare decît obiectul, situată dincolo de centrul de curbură. Cînd obiectul este așezat în focar (cazul al V-lea), razele reflectate sînt paralele. Se zice că imaginea se formează la infinit. Dacă așezăm obiectul între focar și oglindă (fig. 79,*b*) imaginea lui este dreaptă, mai mare decît obiectul și virtuală. Construcția imaginii se vede din figură.

În concluzie: cînd obiectul este la infinit, imaginea lui se formează în focar, este reală și punctiformă; cînd este dincolo de centrul de curbură, imaginea se formează între focar și centru și este reală, răsturnată și mai mică decît obiectul. Cînd obiectul este situat în planul care trece prin centrul de curbură, perpendicular pe axa optică principală, imaginea se formează în același plan, este reală, răsturnată și egală cu obiectul. Dacă obiectul este situat între focar și centrul de curbură, imaginea sa se formează dincolo de centru, este reală, răsturnată și mărită. Așezînd obiectul în focar, imaginea se formează la infinit, iar dacă obiectul se află între focar și oglindă, imaginea este virtuală, dreaptă și mai mare decît obiectul. Toate aceste cazuri au fost observate experimental.

b) *Imaginile în oglinzile convexe* se obțin la fel, ținînd seama de poziția focarului (virtual) și a normalei. În figura 80 se observă construcția imaginii $A'B'$ a obiectului AB.

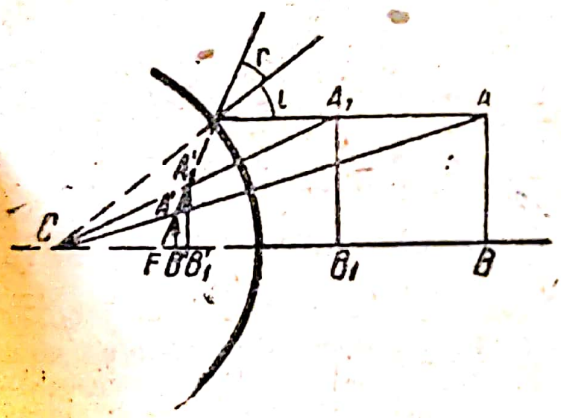


Fig. 80. Formarea imaginii unui obiect în oglinda convexă.

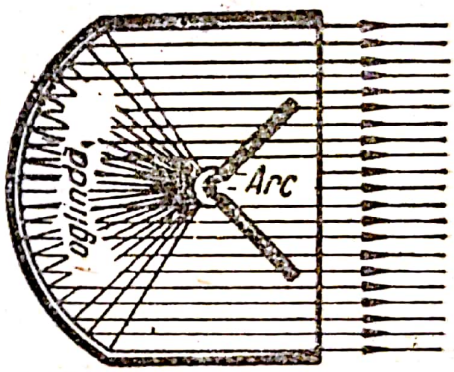


Fig. 81. Construcția unui proiector (schema).

După cum se observă în figură, imaginea obiectului este virtuală, dreaptă și se mărește pe măsură ce obiectul se apropie de oglindă, însă rămîne tot timpul mai mică decît obiectul.

58. **Aplicații ale oglinzilor sferice.** Oglinzile sferice, în special oglinzile concave, au o largă aplicare practică. Dacă în focarul unei oglinzi concave punem o sursă puternică de lumină, oglinda trimite în spațiu un fascicul puternic de raze paralele. Pe acest principiu funcționează reflectorul sau proiectorul. În figura 81 se vede construcția unui astfel de proiector.

Scanned with OKEN Scanner

Farurile, folosite în marină și aviație, pentru orientarea în timpul nopții, sînt prevăzute cu proiectoare de mare putere. Farurile avioanelor, automobilelor, farurile locomotivelor sînt proiectoare mici a căror sursă de lumină este un bec electric sau o lampă cu gaz de ars. Dacă apropiem sursa de lumină de oglindă, fasciculul de raze reflectate devine divergent. Această proprietate a reflectorului este folosită cînd este necesară iluminarea unei suprafețe mari, de exemplu: o piață, o stație de triaj, un stadion sportiv etc. Totodată trebuie menționat, printre alte multe aplicații ale oglinzilor concave, folosirea lor pentru captarea energiei solare în scopuri practice. Oglinzile concave pot fi folosite, de asemenea, la construcția telescoapelor etc. Deoarece oglinzile sferice prezintă unele defecte, numite aberații, la telescoapele mari se folosesc oglinzi parabolice, care nu prezintă defectele oglinzilor sferice. De asemenea se mai poate menționa, ca aplicație a oglinzilor concave, *oftalmoscopul*, instrument care servește la examinarea retinei (în medicină), pentru determinarea diferitelor afecțiuni ale ochiului, și *stereoperiscopul*, un aparat care permite proiectarea spațială a imaginilor, fără a se mai folosi un ecran.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se înțelege prin reflexia luminii?
2. Care sînt legile reflexiei?
3. Ce se înțelege prin difuzia luminii?
4. Ce numim oglinzi și de cîte feluri sînt oglinzile?
5. Cum se formează imaginile în oglinzile plane?
6. Care sînt elementele unei oglinzi sferice?
7. Ce proprietăți prezintă oglinzile sferice?
8. Cum se construiește imaginea unui obiect într-o oglindă sferică?
9. Ce aplicații au oglinzile sferice?

59. **Refracția luminii.** La studiul reflexiei s-a văzut că, dacă lumina întîlnește suprafața de separare a două medii transparente, optic diferite (de exemplu, lumina trece din aer în apă, sau invers), o parte se reflectă în primul mediu, altă parte se propagă în mediul al doilea schimbîndu-și direcția (fig. 82).

Scanned with OKEN Scanner

Fenomenul de schimbare a direcției razelor de lumină, cînd lumina trece prin suprafața de separare a două medii transparente optic diferite, se numește refracția luminii. Raza SI este *raza incidentă*, raza IR' este *raza reflectată*, iar raza IR este raza *refractată*. Unghiul $SIN = i$ este *unghiul de incidență*, unghiul $N'IR = r$ este *unghiul de refracție*, iar unghiul $RIS' = d$, format de raza refractată cu prelungirea razei incidente, se numește *unghi de deviație*.

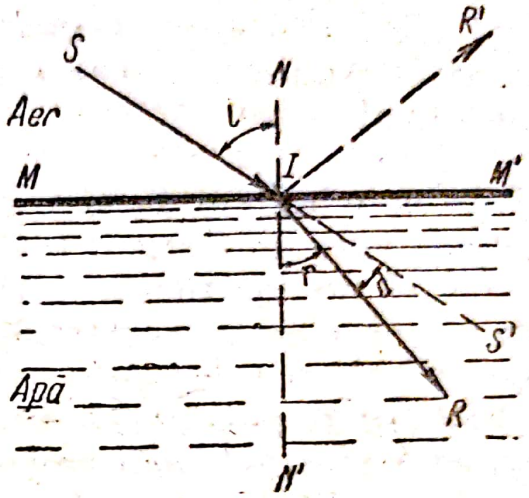


Fig. 82. Refracția luminii; raza trecînd din aer în apă se apropie de normală.

Dacă la trecerea luminii dintr-un mediu transparent în alt mediu transparent, raza refractată se apropie de normală (fig. 82 și fig. 83,*a*), spunem că mediul al doilea este mai refringent decît primul. În acest caz, $r<i$, deci unghiul de deviație $d = i - r$ (fig. 82). Dacă raza refractată se depărtează de normală (fig. 83,*b*), adică $r > i$ și $d = r - i$, mediul al doilea este mai puțin refringent decît primul.

Observație: Dacă raza incidentă este normală la suprafața de separație — *incidență normală* — atunci trece în mediul al doilea fără a fi deviată.

Legile refracției sînt mai complicate decît legile reflexiei, din care cauză formularea lor precisă a fost dată abia în secolul al XVII-lea de către Descartes[1] și, independent de el,

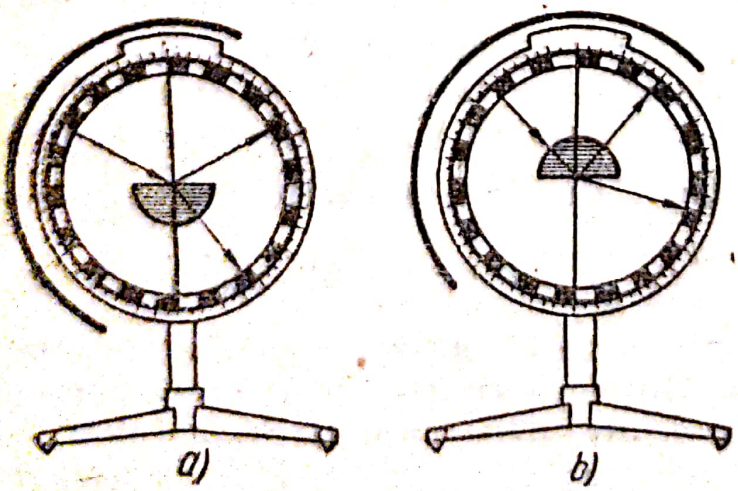


Fig. 83. Refracția luminii: *a* — raza trece din aer în sticlă; *b* — raza trece din sticlă în aer.

[1] Descartes René (1596 — 1650) — matematician, fizician și filozof francez.

de către W. Snellius. Prima încercare de a stabili o lege cantitativă aparţine renumitului astronom Ptolomeu (anul 120 e.n.), dar el n-a reuşit să găsească o expresie justă. Aceste legi se deduc pe cale experimentală.

Legea I-a: *Raza incidentă, raza refractată şi normala la suprafaţa de separare se găsesc în acelaşi plan* (fig. 82 şi 83).

Dacă trimitem la suprafaţa de separare a două medii transparente un fascicul îngust de raze paralele sub diferite unghiuri de incidenţă, măsurînd valorile corespunzătoare ale unghiurilor de refracţie, se constată că:

Pentru fiecare unghi de incidenţă i *exista un unghi de refracţie* r, *astfel încît raportul dintre sinusul unghiului de incidenţă şi sinusul unghiului de refracţie este o mărime constantă pentru mediile alese.*

Matematic, acest adevăr îl exprimăm astfel:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{const} = n. \qquad (20)$$

Această concluzie exprimă legea a II-a a refracţiei, care se mai poate enunţa şi astfel: *raportul dintre sinusul unghiului de incidenţă şi sinusul unghiului de refracţie este o mărime constantă pentru cele două medii optice.*

Indicele de refracţie. Raportul constant $\frac{\sin i}{\sin r}$ se numeşte *indicele de refracţie* al mediului al doilea faţă de primul şi se notează cu n. De exemplu, cînd lumina trece din aer în apă, aerul va fi primul mediu, iar apa mediul al doilea. Dacă considerăm că raza trece invers, din apă în aer, atunci unghiul de incidenţă va fi egal cu r şi unghiul de refracţie va fi egal cu i. În acest caz scriem: $\frac{\sin r}{\sin i} = n'$. Este uşor de văzut că $n' = \frac{1}{n}$; n' reprezintă în acest caz indicele de refracţie al aerului faţă de apă. Indicele de refracţie al oricărui mediu faţă de vid se numeşte *indice absolut de refracţie* al mediului dat, iar indicele de refracţie al unei substanţe faţă de alta, de exemplu, faţă de aer, se

Scanned with OKEN Scanner

numește *indice relativ de refracție*. Pentru aer — sticlă $n = 1{,}5$, iar pentru sticlă — aer, $n' = \frac{1}{n} \approx 0{,}7$. În primul caz, raza refractată se apropie de normală, sticla fiind mai refringentă decît aerul, iar în cazul al doilea, raza refractată se depărtează de normală.

Mai jos se dau indicii absoluți de refracție ai cîtorva substanțe:

1.	Sticlă obișnuită	1,51
2.	Sticlă optică (flint greu)	1,8
3.	Sulfură de carbon	1,63
4.	Sare gemă	1,55
5.	Cuarț	1,55
6.	Balsam de Canada	1,54
7.	Terebentină	1,41
8.	Spirt	1,36
9.	Apă	1,33
10.	Gheață	1,31
11.	Aer	1,00029

După cum se vede, indicele de refracție depinde de natura substanței respective. Pentru aer, indicele de refracție este aproape egal cu unitatea.

Indicele de refracție, definit prin raportul $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ este egal cu raportul vitezelor de propagare a luminii în cele două medii, după cum a demonstrat Fermat. Dacă notăm cu v_1 și v_2 vitezele luminii în primul și al doilea mediu, atunci:

$$\boxed{\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}} \quad \text{sau} \quad \boxed{n = \frac{v_1}{v_2}} \qquad (21)$$

Foucault (1819—1868) a verificat experimental această relație, măsurînd viteza luminii în aer (v_1) și în apă (v_2) și a constatat că, în apă, viteza luminii este mai mică decît în aer. Făcînd raportul celor două viteze, el a găsit că $\frac{v_1}{v_2} = \frac{4}{3} = 1{,}33$, valoare egală cu indicele de refracție al apei față de aer. Deci, într-un mediu mai refringent, viteza luminii este mai mică decît într-un mediu mai puțin refringent.

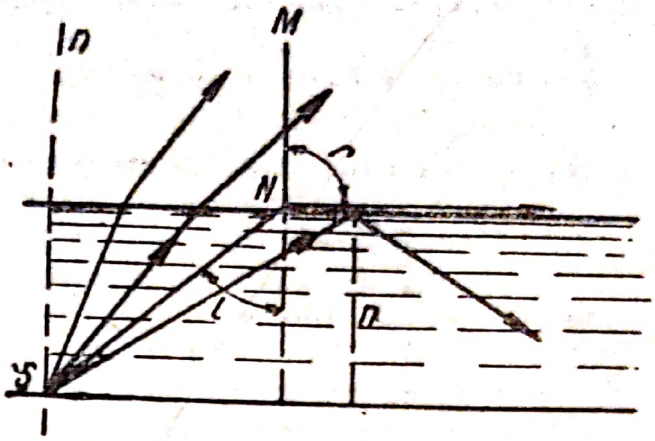
Scanned with OKEN Scanner

Conform relației (21), indicele absolut de refracție al primului mediu este $n_1 = \frac{c}{v_1}$ (c = viteza luminii în vid), iar al mediului al doilea va fi $n_2 = \frac{c}{v_2}$. De aici rezultă că: $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}}$, adică $\frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$. Înlocuind raportul $\frac{v_1}{v_2}$ în relația (21), prin raportul $\frac{n_2}{n_1}$, obținem relația finală:

$$\boxed{\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}} \qquad (22)$$

60. **Reflexia totală.** Dacă la trecerea unei raze de lumină din aer în apă variem unghiul de incidență de la 0 la 90°, observăm că și unghiul de refracție crește, dar rămîne tot timpul mai mic decît unghiul de incidență. Invers, cînd raza trece din apă în aer, unghiul de refracție crește mai repede decît unghiul de incidență și este mai mare decît acesta. La un moment dat, pentru o anumită valoare a unghiului de incidență, unghiul de refracție devine egal cu 90°. În acest caz, unghiul de incidență corespunzător unghiului de refracție de 90° se numește *unghi limită*. Același fenomen îl întîlnim și la trecerea luminii din sticlă în aer și, în general, la trecerea luminii dintr-un mediu refringent într-un mediu mai puțin refringent. Pentru apă, unghiul limită este de 49°, iar pentru diferite feluri de sticlă este cuprins între 30 și 42°. Dacă mărim unghiul de incidență peste valoarea unghiului limită, raza de lumină nu mai trece în mediul al doilea, ci se reflectă total în primul mediu (apa sau sticla). Acest fenomen se numește *reflexie totală* (fig. 84). Pentru orice substanță, unghiul limită poate fi calculat din formula unghiului de refracție. Vom scrie: $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n}$ (n este indicele de refracție al sticlei față de aer).

Fig. 84. Reflexia totală.



Notînd unghiul de incidență limită cu l și ținînd seama că $r = 90°$, obținem relația:

$\frac{\sin l}{\sin 90°} = \frac{1}{n}$, sau $\sin l = \frac{1}{n}$ și deci:

$$\boxed{l = \text{arc sin } \frac{1}{n}} \qquad (23).$$

Reflexia totală se întîlnește în natură și în tehnică. În tehnică este folosită, cînd vrem să modificăm mersul razelor de lumină la proiectarea obiectelor așezate într-un plan orizontal pe un ecran vertical, la binoclul cu prisme etc.

Adeseori, reflexia totală este folosită la fîntînile țîșnitoare din parcuri și de pe bulevarde, care aruncă apă colorată în diferite nuanțe. De asemenea, reflexia totală este folosită pentru iluminarea subsolurilor ș.a.m.d.

61. **Refracția atmosferică** (fenomene naturale care se explică prin refracție și reflexie totală).

Știm că atmosfera este formată din straturi de aer a căror densitate este maximă la suprafața pămîntului și scade cu altitudinea. Razele de lumină care pornesc de la Soare, stele etc. și străbat atmosfera pînă la suprafața pămîntului se refractă cu apropiere de normală, astfel încît noi vedem imaginea virtuală a astrului mai sus decît se află astrul în realitate (fig. 85).

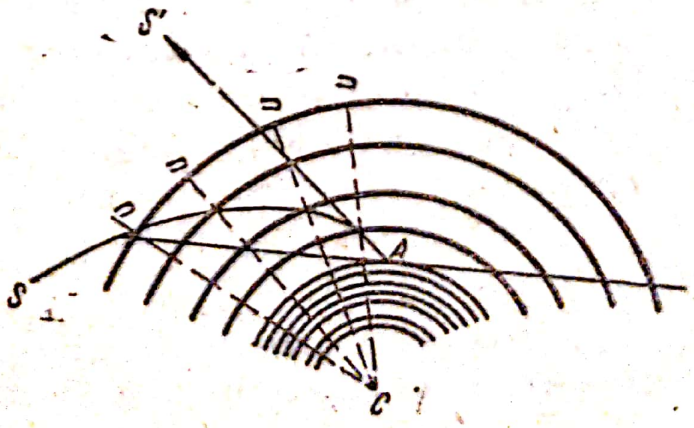


Fig. 85. Refracția atmosferică: Soarele care se află sub orizont (S) pare deasupra (S').

Așa se explică faptul că dimineața vedem Soarele răsărind, cu toate că el se află sub orizont cu $\approx 35'$ iar seara îl vedem apunînd în momentul cînd se află deja sub orizont cu $\approx 35'$. Acest fenomen este cunoscut sub numele de *refracția atmosferică* și are ca prim efect prelungirea zilei.

62. **Mirajul.** Mirajul este un fenomen natural de reflexie totală și este întîlnit în deșerturi sau prin locuri puternic încălzite. Acest fenomen se datorește încălzirii neuniforme a straturilor de aer de la suprafața pămîntului. Fenomenul se manifestă în modul următor: călătorii,

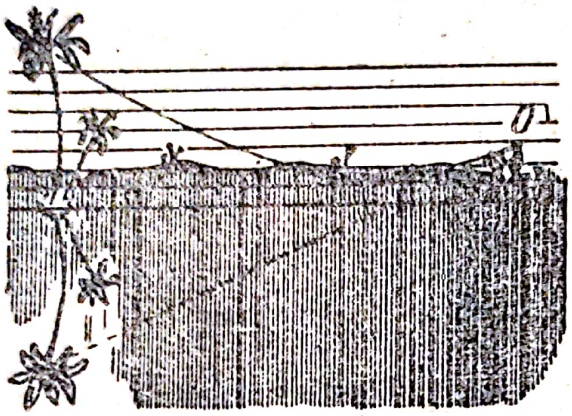


Fig. 86. Mirajul în deșert: imaginea pare a se oglindi în apă.

care străbat prin deșerturi sau prin locuri încălzite puternic, văd adeseori în depărtare imaginile răsturnate ale unor corpuri, oaze, copaci etc. ca și cum acestea s-ar oglindi în apă. Acest fenomen poate fi înțeles cu ușurință studiind cu atenție figura 86.

O rază de lumină trecînd prin medii optice de densități diferite suferă fenomenul de refracție. Din cauza încălzirii mari a suprafeței pămîntului în locurile respective, straturile de aer vecine devin mai calde decît straturile superioare și deci densitatea lor va fi mai mică decît densitatea straturilor mai depărtate (superioare). Ca urmare, o rază de lumină trecînd din medii mai refringente în medii mai puțin refringente se depărtează de normală ajungînd ca la un moment dat unghiul de incidență să devină mai mare decît unghiul limită și atunci raza se va reflecta total, așa cum se vede în figură. Ajungînd la observatorul O, acesta va vedea în prelungirea ultimei raze refractate imaginea virtuală și răsturnată a obiectului respectiv.

Mirajul se observă și la poli; aici, straturile mai reci de aer fiind cele în contact cu suprafața pămîntului, obiectele apar proiectate în aer, mai sus decît în realitate.

63. **Refracția printr-o lamă cu fețe plan-paralele.** Fie o lamă de sticlă cu fețe plane și paralele și o rază de lumină

Scanned with OKEN Scanner

care vine de la sursă S și cade pe fața A în punctul I (fig.87). În acest punct are loc o reflexie parțială a luminii, conform legilor reflexiei și o refracție după direcția II', raza refractată apropiindu-se de normala dusă în I. În punctul I' pe fața B va avea loc o nouă reflexie parțială în sticlă și o refracție a razei care iese în aer, depărtîndu-se de normala dusă în I'.

Aplicînd legea refracției pentru trecerea aer-sticlă, obținem re-

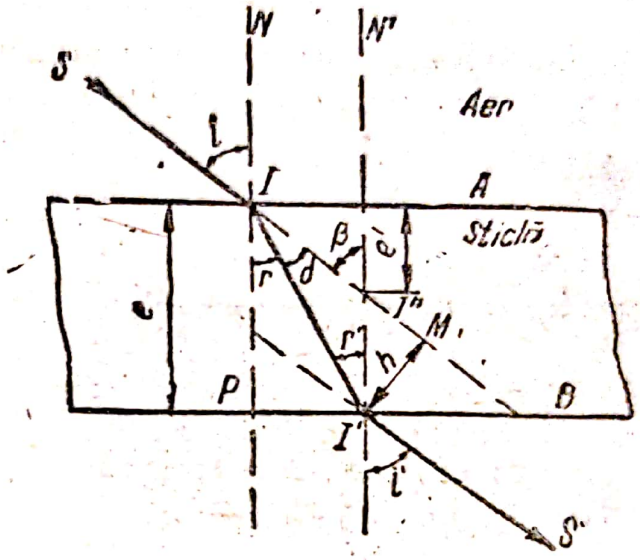


Fig. 87. Refracția printr-o lamă cu fețe paralele.

lația $\frac{\sin i}{\sin r} = n$, iar pentru trecerea sticlă-aer, relația: $\frac{\sin r'}{\sin i'} = \frac{1}{n}$. Normalele NI și $N'I'$ sînt paralele între ele. De aici rezultă că $r = r'$ ca unghiuri alterne interne. Făcînd produsul celor două relații de mai sus și ținînd seama de egalitatea $r = r'$, obținem relația: $\frac{\sin i}{\sin i'} = 1$ sau $\sin i = \sin i'$. Din această egalitate și deoarece ambele unghiuri sînt ascuțite, rezultă că $i = i'$. Unghiul i' format de raza $I'S'$ cu normala $N'I'$ se numește *unghi de emergență*, iar raza $I'S'$ se numește *rază emergentă*. Deci, relația de mai sus arată că unghiul de incidență este egal cu unghiul de emergență. De aici rezultă că raza incidentă SI și raza emergentă $I'S'$ sînt paralele, fiind depărtate între ele cu distanța h, a cărei valoare depinde de unghiul de incidență, de indicele de refracție și de grosimea lamei. În concluzie putem afirma că: *o rază de lumină, trecînd printr-o lamă transparentă cu fețe plan-paralele, suferă o deplasare, raza emergentă rămînînd paralelă cu raza incidentă.*

Dacă se privește punctul I' dinspre fața A, din cauza refracției va fi observat în I'', la intersecția razei SI cu normala $I'N'$. Ca urmare, grosimea lamei va apărea mai mică

Scanned with OKEN Scanner

decît în realitate. Dacă grosimea reală a lamei este $IP = e$, grosimea ei aparentă este $e' = e - I'I''$. Se poate demonstra cu ușurință că $e' = \frac{e}{n}$ (vezi calculul lui e'). Pe baza acestei relații se poate determina cu rapiditate indicele de refracție al unei lame subțiri, folosind un microscop. Se așază lama pe platina microscopului și se pune la punct în microscop mai întîi un punct figurat pe fața superioară, apoi un punct de pe fața inferioară și, făcînd diferența dintre citirile la micrometrul de deplasare verticală al microscopului, găsim grosimea aparentă; grosimea reală o măsurăm direct.

Observație: Cînd privim obiecte prin geam, ele apar deplasate, însă, datorită grosimii mici a geamului, această deplasare este neglijabilă și nu se observă la un geam de grosime uniformă.

1. *Calculul deplasării h* (fig. 87). Din triunghiul dreptunghic IMI' se vede că h, cateta opusă unghiului de deviație d, este dată de relația $h = II' \sin d$. Latura II' este însă ipotenuza în triunghiul dreptunghic IPI' și deci în baza relațiilor trigonometrice dintre laturile și unghiurile triunghiului, avem: $II' = \frac{IP}{\cos r}$, unde IP este grosimea lamei. Făcînd înlocuirea lui II' în formula lui h, obținem: $h = \frac{IP}{\cos r} \cdot \sin d$. Pe de altă parte se observă că: $d = i - r$ și deci: $H = \frac{IP}{\cos r} \sin (i - r)$. Unghiul i poate fi măsurat cu ușurință, iar unghiul r se determină din formula indicelui de refracție: $n = \frac{\sin i}{\sin r}$, dacă cunoaștem pe n.

2. *Calculul grosimii aparente*. Din figura 87 se observă că: $e' = I'P \operatorname{ctg} \beta$, iar $e = I'P \operatorname{ctg} r$, de unde rezultă: $\frac{e'}{e} = \frac{\operatorname{ctg} \beta}{\operatorname{ctg} r}$ sau $\frac{e'}{e} = \frac{\operatorname{tg} r}{\operatorname{tg} \beta}$. Deoarece ochiul recepționează numai un fascicul îngust de raze, unghiurile β și r sînt foarte mici, ceea ce permite să scriem: $\operatorname{tg} r \approx \sin r$ și $\operatorname{tg} \beta \approx \sin \beta$ și deci: $\frac{e'}{e} = \frac{\sin r}{\sin \beta}$. Întrucît $\beta = i$, rezultă: $\frac{e'}{e} = \frac{\sin r}{\sin i}$ sau $\frac{e'}{e} = \frac{1}{n}$, de unde rezultă: $e' = \frac{e}{n}$.

Scanned with OKEN Scanner

LUCRAREA DE LABORATOR nr. 4

Determinarea indicelui de refracție

Se determină indicele de refracție al apei și al sticlei față de aer. În acest scop, pentru apă folosim materialele următoare: o planșetă pătrată pe care am desenat un cerc și am dus diametrele conjugate AA' și BB' (v. fig. 88); cuva pentru experiențe de optică V în care să poată intra planșeta sau cartonul și ace cu gămălie.

Modul de lucru. Fixăm un ac în centrul cercului O și unul într-un punct oarecare a pe cerc. Introducem planșeta în apă în poziție verticală pînă în dreptul diametrului orizontal AA'. Privim apoi planșeta de deasupra pînă observăm acul din O în dreptul imaginii acului din a și înfigem pe cerc un ac b, pe direcția razei vizuale (vedem o singură imagine). Scoatem planșeta din apă și trasăm cu creionul direcțiile Oa și Ob. Observăm că aceste direcții sînt diferite. Măsurăm unghiul i și unghiul r. Făcînd raportul sinusurilor acestor unghiuri, aflăm indicele de refracție al apei față de aer. Repetăm experiența de mai multe ori și aflăm valoarea medie a indicelui de refracție.

Determinarea indicelui de refracție al sticlei. Pentru a afla indicele de refracție al sticlei față de aer putem folosi aparatul din figura 83. Acest aparat îl putem folosi, de asemenea, și pentru a afla indicele de refracție al apei, dacă înlocuim placa semicilindrică de sticlă printr-o cuvă de sticlă de aceeași formă, în care punem apă. Cu acest aparat se determină rapid unghiul de incidență și unghiul de refracție, aflîndu-se apoi indicele de refracție al mediului respectiv față de aer. Dacă nu avem un astfel de aparat, lucrăm ca mai jos: pe o planșetă fixăm un paralelipiped de

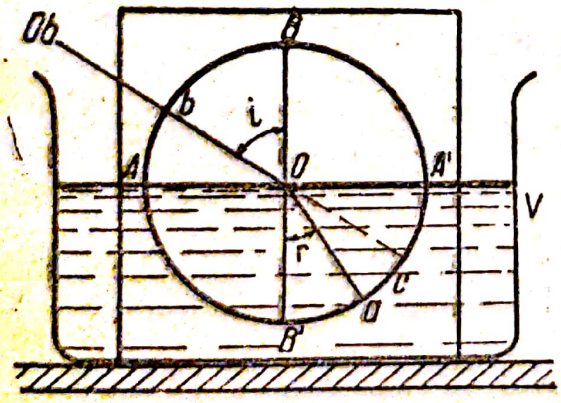


Fig. 88. Determinarea indicelui de refracție al apei față de aer.

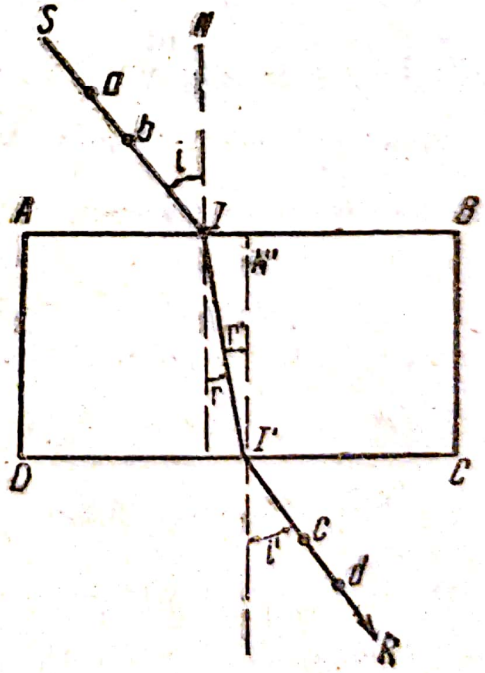
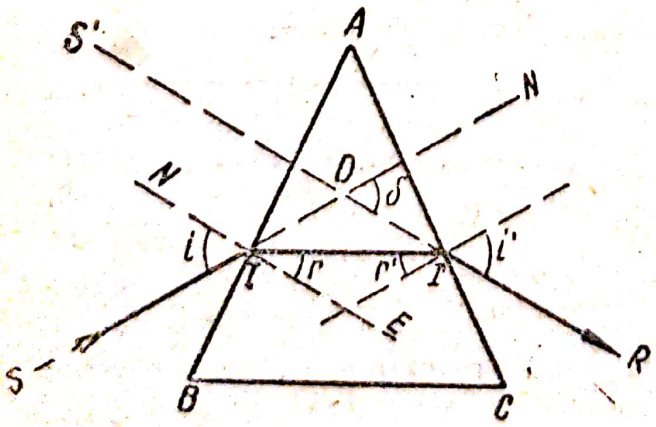


Fig. 89. Determinarea indicelui de refracție al sticlei față de aer.

sticlă, căruia îi trasăm conturul pe planșetă, ca în figura 89. Trasăm deasupra conturului o linie oblică pe care înfigem două ace, în a și b, la o distanță oarecare unul de altul. Privim apoi dinspre fața CD astfel încît să vedem acul din a în dreptul acului din b și înfigem în planșetă, de această parte, două ace în c și d, astfel încît toate cele patru ace să se vadă unul în dreptul altuia. Înlăturăm apoi sticla de pe planșetă, după ce am verificat dacă i-am trasat conturul. Vom observa că cele două direcții sînt paralele. Ridicăm perpendicularele NI și $N'I'$, apoi unim pe I cu I'. Măsurăm unghiurile i și r, apoi calculăm indicele de refracție al sticlei față de aer. Ținînd seama că în timpul experienței putem face erori, repetăm experiența de mai multe ori și calculăm valoarea medie a indicelui de refracție.

64. **Refracția prin prisma optică.** Înțelegem prin prismă optică un mediu transparent mărginit de trei fețe plane. Două dintre aceste fețe, prin care trec razele de lumină, se numesc *fețe de refracție*, iar a treia se numește *baza prismei*. Muchia după care se intersectează fețele de refracție se numește *muchie de refracție*, iar unghiul diedru format de aceste două fețe se numește *unghi de refracție* al prismei. Orice secțiune perpendiculară pe muchia de refracție se numește *secțiune principală*. Schematic, o prismă optică se reprezintă printr-o secțiune principală. Să studiem mersul razelor de lumină printr-o prismă optică. Fie prisma ABC (fig. 90) și SI o rază de lumină care întîlnește fața AB în punctul I. Trecînd din aer în sticlă, raza se refractă apropiindu-se de normala NI, adică $r<i$. Raza refractată II' întîlnește fața AC în punctul I' și trecînd din sticlă în aer se refractă depărtîndu-se de normala $N'I'$, deci $r'<i'$. Raza $I'R$ este raza emergentă și unghiul i', unghi de emergență; unghiul δ se numește unghi de *deviație totală*.

Valoarea lui este dată de relația:



$$\delta = i + i' - A \qquad (24)$$

dedusă din considerente de geometrie elementară.

Fig. 90. Refracția unei raze de lumină prin prisma optică.

Scanned with OKEN Scanner

Observăm că prisma optică refractă de două ori raza care o străbate. De asemenea, urmărind mersul razelor de lumină, constatăm că, deoarece prisma este mai refringentă decît aerul, raza emergentă este deviată spre baza ei. În cazul figurii 90, privind în prelungirea razei emergente, vedem imaginea sursei S, de la care pornește raza SI, în punctul S'. Aceasta este o imagine virtuală și deplasată cu unghiul δ.

Observație: Dacă prisma are unghiul A drept, o rază incidentă căzînd normal la fața AB pătrunde în prismă nedeviată și ajungînd la fața BC suferă fenomenul reflexiei totale; raza emergentă va fi perpendiculară pe raza incidentă. Prismele cu reflexie totală sînt folosite în diferite scopuri practice. De exemplu: la binoclul cu prisme, pentru iluminarea subsolurilor, pentru a evita încălzirea prea mare a locuințelor în țările calde (sticla parasol) etc.

65. **Dispersia luminii.** Dacă printr-o prismă optică trece un fascicul de lumină albă, pe lîngă fenomenul de refracție se constată și o *descompunere a luminii albe în raze colorate*. Sînt vizibile în total 7 culori distincte: roșu, portocaliu (orange), galben, verde, albastru, indigo și violet. Această experiență ne dovedește că lumina albă este o lumină compusă.

Descompunerea luminii albe în radiațiile care o compun se numește **dispersia** *luminii*. Totalitatea razelor colorate care compun lumina albă formează spectrul solar. Privind pe un ecran alb spectrul dat de prismă, observăm că, deși razele care formează lumina albă au același unghi de incidență, razele colorate ies din prismă sub unghiuri diferite. Rezultă că indicii de refracție ai prismei, pentru diferitele raze colorate, sînt diferiți. Cea mai mică deviație o au razele roșii, iar cea mai mare, razele violete. Întrucît știm că indicele de refracție absolut este raportul dintre viteza luminii în vid c_0 și viteza ei în sticlă c $\left(n = \frac{c_0}{c}\right)$, rezultă că razele colorate care se propagă într-un mediu material au viteze diferite. Ca urmare a dispersiei luminii definim indicele de refracție al unei substanțe pentru o anumită radiație.

Dacă izolăm una dintre radiațiile colorate și o trecem printr-o altă prismă, constatăm că ea suferă numai o deviație, fără a mai fi descompusă. Rezultă că razele colorate

Scanned with OKEN Scanner

sînt *raze simple*. Datorită acestui fapt, razele colorate se numesc *raze monocromatice*. Fenomenul invers al dispersiei este *sinteza*. Acest fenomen constă în compunerea luminii albe din razele monocromatice și poate fi obținut trecînd fasciculul de raze monocromatice printr-o a doua prismă, identică cu prima și alăturată ei, fiind așezată în sens invers (cu baza către muchia de refracție a primei prisme, alcătuind împreună un paralelipiped).

LENTILE

66. Noțiuni generale despre lentile. *Se numește* **lentilă** *un mediu transparent mărginit de două fețe sferice sau de o față sferică și una plană.*

Lentilele se clasifică în două grupe:

a) lentile convergente, cu mijlocul bombat și marginile subțiri;
b) lentile divergente, cu mijlocul subțire și marginile groase.

Lentilele convergente sînt la rîndul lor de trei feluri:

1) lentile biconvexe — cu ambele fețe convexe;
2) lentile plan-convexe — cu o față plană și cu una convexă;
3) lentile concav-convexe (menisc convergent) — cu o față convexă și una concavă.

Lentilele divergente, de asemenea, se pot prezenta sub trei forme:

1) lentile biconcave — cu ambele fețe concave;
2) lentile plan-concave — cu o față plană și una concavă;
3) lentile convex-concave (sau menisc divergent) — cu o față convexă și una concavă.

În figura 91 se văd diferite feluri de lentile convergente și divergente și modul cum se reprezintă. Dacă grosimea lentilei este foarte mică în raport cu diametrul ei, spunem că lentila este o lentilă subțire. În cele ce urmează va fi vorba numai despre lentilele subțiri.

Scanned with OKEN Scanner

Proprietățile lentilelor. Lentilele convergente au proprietatea de a strînge razele paralele care le străbat, într-un punct numit *focar*, care poate fi prins pe un ecran alb. Datorită acestei proprietăți, astfel de lentile se numesc *lentile convergente*. Lentilele divergente diverg razele paralele care trec prin ele, adică le refractă astfel încît prelungirile acestor

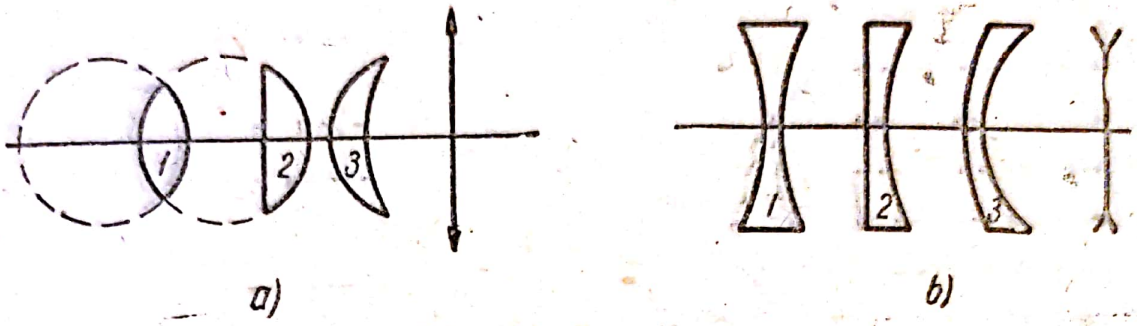


Fig. 91. Lentile:
a — convergente; *b* — divergente.

raze se întîlnesc într-un punct, numit de asemenea focar (virtual). Datorită acestei proprietăți, astfel de lentile se numesc *lentile divergente*. În figura 92 se arată cum se procedează experimental pentru a pune în evidență aceste proprietăți ale lentilelor.

Comparația lentilelor cu prisma optică. Din punctul de vedere al refracției razelor de lumină, lentila convergentă se aseamănă cu două prisme care au baza comună (fig. 93, *a*), iar lentila divergentă se aseamănă cu două prisme care au vîrful comun (fig. 93, *b*).

Elementele geometrice și fizice ale unei lentile. Întocmai ca la oglinzile sferice și la lentile găsim o serie de elemente geometrice și fizice caracteristice (fig. 94). Lentilele, convergente sau divergente, fiind mărginite de fețe sferice, centrele sferelor din care fac parte fețele vor fi c e n t r e l e

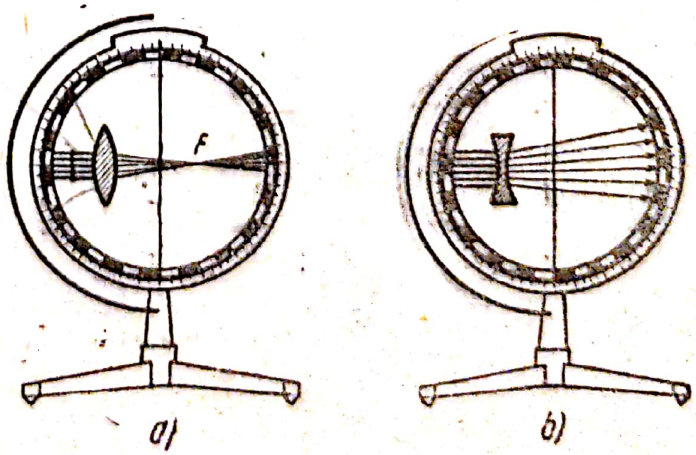


Fig. 92. Proprietățile lentilelor: razele paralele converg după refracție, într-un punct numit focar la lentilele convergente (*a*) și diverg la lentilele divergente (*b*).

de curbură ale feţelor lentilei considerate. În cazul lentilei biconvexe şi biconcave sînt două centre de curbură C şi C' şi două raze de curbură (razele feţelor sferice) şi tot aşa în cazul lentilelor menisc. Dacă lentila considerată are numai o faţă sferică şi cealaltă plană, centrul de curbură a feţei plane este situat la infinit,

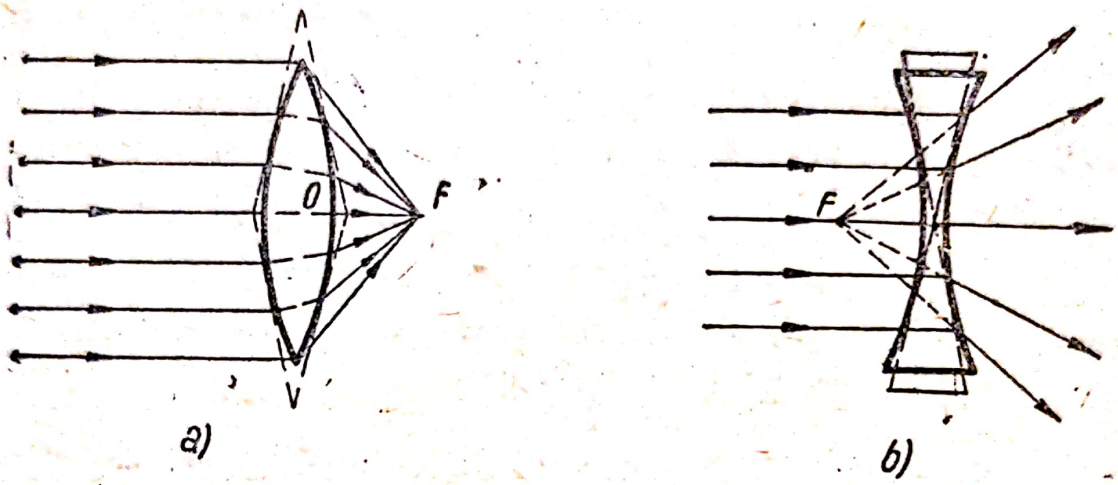


Fig. 93. Comparaţia lentilelor cu prisma:
a — lentile convergente; *b* — lentile divergente.

deoarece faţa plană o putem considera ca făcînd parte dintr-o sferă cu raza foarte mare în raport cu raza celeilalte feţe. Dreapta care trece prin centrele de curbură CC' se numeşte axă optică principală. Pentru orice lentilă există un punct O, situat pe axa optică principală, numit centrul optic al lentilei. Acest punct se bucură de proprietatea că: orice rază de lumină care trece prin centrul optic nu se refractă. În cazul cînd lentila este groasă, această rază suferă numai o deplasare ca în cazul lamei cu feţe plan-paralele, pentru că la mijloc, pe o mică porţiune, lentila se aseamănă cu o astfel de lamă. Dreptele care trec numai prin centrul optic se

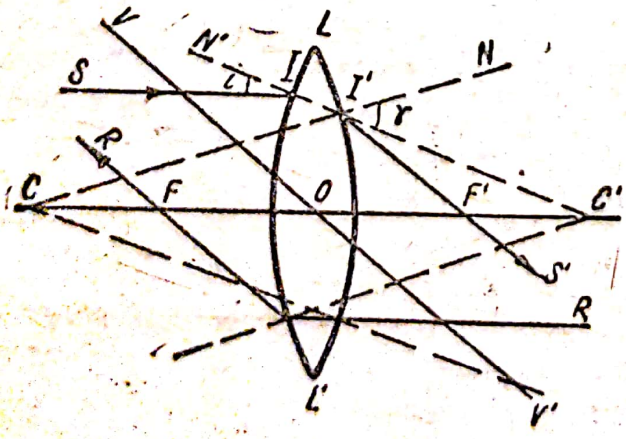


Fig. 94. Elementele unei lentile convergente biconvexe.

numesc axe secundare *(VV')*. La o lentilă întîlnim o infinitate de axe secundare.

Focarele principale. Dacă razele care străbat lentila sînt paralele cu axa optică principală, atunci punctul de intersecție al acestor raze după refracție, sau al prelungirilor lor, tot după refracție, este situat pe axa optică principală și se numește focar principal. La orice lentilă întîlnim două focare principale *(F, F')* care pot fi reale sau virtuale, după cum lentila este convergentă sau divergentă. Figura 94 reprezintă elementele unei lentile convergente (biconvexe).

Distanța de la un focar principal pînă la centrul optic se numește distanța focală principală. Orice lentilă are două distanțe focale principale care sînt egale în valoare absolută. Notăm distanța focală principală cu *f*. Aceleași elemente le întîlnim și la lentilele divergente, cu deosebirea că focarele sînt virtuale.

Focare secundare. Dacă fasciculul de raze este paralel cu unul din axele secundare, după refracție, razele sînt strînse într-un punct situat pe axa secundară respectivă. Acest punct se numește focar secundar. Locul geometric al focarelor situate de aceeași parte a lentilei se numește plan focal. Sînt două plane focale.

67. **Formarea imaginilor în lentile.** a) *Formarea imaginilor în lentilele convergente.* Să efectuăm următoarea experiență: în fața unei lentile convergente *L* să așezăm, la o distanță suficient de mare, o lumînare *S* avînd flacăra la nivelul lentilei. De cealaltă parte a lentilei, să așezăm un ecran alb *E* pe care, apropiindu-l și depărtîndu-l de lentilă, căutăm să obținem imaginea clară și reală a flăcării. Observăm că această imagine este mai mică decît flacăra, răsturnată și mai aproape de lentilă decît lumînarea. Apropiind lumînarea de lentilă, observăm că trebuie să depărtăm ecranul pentru a obține imaginea clară. Pe măsură ce apropiem lumînarea de lentilă, imaginea flăcării se depărtează, rămînînd tot răsturnată, dar începe să crească, devenind la un moment dat egală cu obiectul, apoi mai mare decît obiectul (fig. 95) și se depărtează rapid de lentilă, pe măsură ce apropiem lumînarea. Continuînd să apropiem lumînarea de lentilă, constatăm că la un moment dat imaginea flăcării nu se mai poate obține pe ecran. În schimb, privind prin lentilă la lumînare, vedem imaginea dreaptă și mărită.

Scanned with OKEN Scanner

Această imagine este o imagine virtuală. Să studiem acum construcția geometrică a imaginilor în cazurile întîlnite experimental. Ca și la construcția imaginilor în oglinzile concave, considerăm obiectul AB așezat perpendicular pe axa optică principală, cu extremitatea B chiar pe axă. În acest caz, vom duce numai două raze din extremitatea A: una paralelă cu axa optică principală și una care trece nedeviată prin centrul optic. Se întîlnesc, ca și la oglinzile concave, mai multe cazuri.

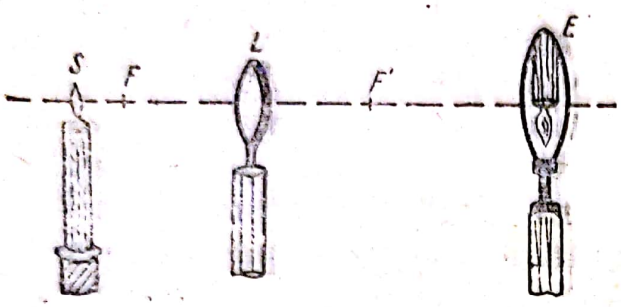


Fig. 95. Obținerea pe un ecran a imaginii dată de o lentilă convergentă.

Cazul I: obiectul este situat la infinit. În acest caz, razele care cad pe lentilă sînt paralele și după refracție se strîng în focar, deci imaginea obiectului se formează în focar, fiind reală și punctiformă.

Cazul al II-lea: obiectul este situat dincolo de dublul distanței focale (fig. 96, *a*). Imaginea se formează de cealaltă parte a lentilei, între focar și dublul distanței focale; ea este reală, răsturnată și mai mică decît obiectul. Acesta este cazul aparatului fotografic. Grafic, imaginea punctului A se obține la intersecția razei AO cu raza refractată. Folosind aceeași construcție ca în figura 96, *a*, construim imaginea obiectului și în celelalte cazuri.

Cazul al III-lea: obiectul se află în planul care trece prin dublul distanței focale, perpendicular pe

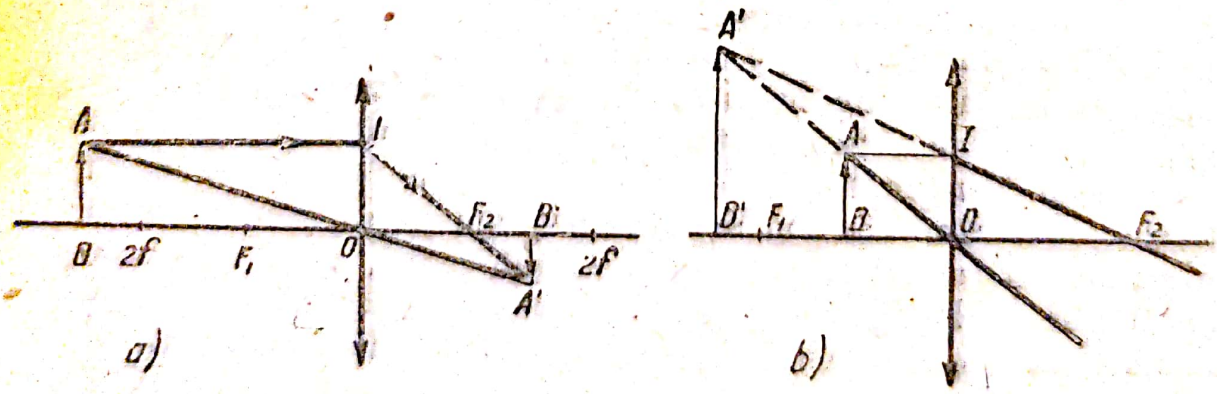


Fig. 96. Construcția imaginilor în lentile convergente:
a — obiectul este situat dincolo de dublul distanței focale;
b — obiectul este situat între focar și lentilă.

Scanned with OKEN Scanner

axa optică principală. Imaginea se formează de cealaltă parte a lentilei, este reală, răsturnată și egală cu obiectul, situată tot la dublul distanței focale.

Cazul al IV-lea: obiectul este situat între dublul distanței focale și focar (fig. 95). Imaginea se formează de cealaltă parte a lentilei, este reală, răsturnată și mai mare decît obiectul, situată dincolo de dublul distanței focale. Este cazul aparatelor de proiecție.

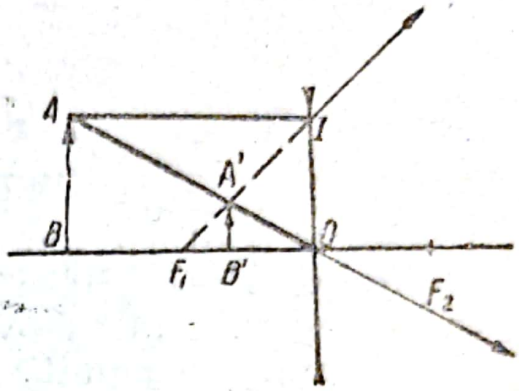


Fig. 97. Construcția imaginilor într-o lentilă divergentă.

Cazul al V-lea: obiectul este situat în focar. Razele refractate sînt paralele. Imaginea se formează la infinit.

Cazul al VI-lea: obiectul se află între focar și lentilă (fig. 96,*b*). Imaginea punctului A se obține grafic prin prelungirea razelor AO și IF_2 de aceeași parte cu obiectul; este o imagine virtuală, dreaptă și mai mare decît obiectul. Acesta este cazul lupei.

b) *Formarea imaginilor în lentilele divergente.* Lentilele divergente dau numai imagini virtuale. Figura 97 arată cum se construiește imaginea obiectului AB într-o astfel de lentilă. Se vede că imaginea este virtuală, dreaptă și mai mică decît obiectul.

68. **Formula lentilelor.** Să considerăm figura 96,*a*, în care facem următoarele notații: $p = OB$ — distanța de la obiect pînă la centrul optic al lentilei; $p' = OB'$ — distanța de la imagine pînă la centrul optic; $f = OF_1 = OF_2 =$ = distanța focală.

Examinînd cu atenție figura 96, *a*, observăm că: $\triangle ABO \sim$ $\sim \triangle OB'A'$ și $\triangle IOF_2 \sim \triangle F_2B'A'$ ca triunghiuri dreptunghice care au cîte un unghi ascuțit egal. Deci, putem scrie următoarele proporții:

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{BO}{OB'} \text{ și } \frac{IO}{A'B'} = \frac{OF_2}{F_2B'}.$$

Scanned with OKEN Scanner

Din figură se vede că $IO = AB$, deci rezultă că: $\frac{BO}{OB'} = \frac{OF_2}{F_2B'}$.

Înlocuind cu notaţiile de mai sus, obţinem: $\frac{p}{p'} = \frac{f}{p' - f}$.

Din această relaţie, aducînd la acelaşi numitor şi împărţind cu produsul $pp'f$, găsim relaţia finală.

$$\boxed{\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}} \qquad (25)$$

Această relaţie se numeşte *formula lentilelor*. Ea serveşte în diferite calcule, cît şi în discuţia formării imaginilor în lentilele convergente şi divergente. În cazul lentilelor convergente, pentru imaginile reale, p, p', f se iau cu semnul plus (+); în cazul imaginilor virtuale, p' se ia cu semnul minus (—) şi în cazul lentilelor divergente, la care atît focarele cît şi imaginile date sînt virtuale, p' şi f se iau cu semnul (—), iar formula capătă forma: $\frac{1}{p} - \frac{1}{p'} = -\frac{1}{f}$.

Să vedem cum folosim această formulă în discuţia formării imaginilor. Pentru aceasta, scoatem valoarea lui p'; $p' = \frac{f}{1 - \frac{f}{p}}$.

Cazul I: obiectul este situat la infinit, deci $p = \infty$. Rezultă că $\frac{f}{p} = 0$ şi $p' = f$, adică distanţa de la imagine pînă la centrul optic este egală cu distanţa focală, sau, imaginea se formează în focar.

Cazul al II-lea: obiectul este situat dincolo de dublul distanţei focale, adică $p > 2f$. Presupunem că $p = 3f$. Rezultă că:

$$\frac{f}{p} = \frac{1}{3} \text{ şi } 1 - \frac{f}{p} = \frac{2}{3}.$$

Deci:

$$p' = \frac{f}{\frac{2}{3}} \text{ sau } p' = \frac{3}{2} f.$$

Înseamnă că $f < p' < 2f$, ceea ce în cuvinte se exprimă astfel: distanța de la imagine la centrul optic este mai mare decît distanța focală, dar mai mică decît dublul distanței focale; sau, mai pe scurt, imaginea se formează între focar și dublul distanței focale.

Cazul al III-lea: obiectul este situat la dublul distanței focale, adică $p = 2f$. În acest caz:

$$\frac{f}{p} = \frac{1}{2} \text{ și } 1 - \frac{f}{p} = \frac{1}{2},$$

deci $p' = 2f$, adică imaginea se formează tot la dublul distanței focale. La fel se discută și celelalte cazuri.

§ 69. **Convergența lentilelor. Dioptria.** Pentru clasificarea lentilelor după proprietățile lor optice se folosește mărimea cunoscută sub numele de *convergența lentilelor* (puterea optică a lentilelor). *Prin convergență sau putere optică se înțelege inversul distanței focale* $\left(\frac{1}{f}\right)$. Această mărime ne ajută să apreciem puterea de refracție a unei lentile. De exemplu, cu cît distanța focală va fi mai scurtă, cu atît refracția razelor de lumină care străbat lentila va fi mai puternică și raportul $\frac{1}{f}$ va avea o valoare mai mare. Spunem că lentila respectivă are o convergență mare; cu cît distanța focală va fi mai mare, cu atît refracția razelor va fi mai mică. Raportul $\frac{1}{f}$ va avea și el o valoare mai mică, deci convergența lentilei va fi mai mică. Pentru lentilele convergente, convergența se consideră pozitivă, iar pentru lentilele divergente, convergența se consideră negativă. Ca unitate de măsură a convergenței se ia *dioptria*, care se definește ca fiind *convergența unei lentile cu distanța focală de 1 m.*

Exemplu. Dacă o lentilă are distanța focală $f = 1$ m, $\frac{1}{f} = 1\,\text{m}^{-1} =$ $= 1$ dioptrie. O lentilă convergentă cu $f = 20$ cm are convergența $\frac{1}{f} = 5$ dioptrii, iar o lentilă convergentă cu $f = 2$ m are convergența $\frac{1}{f} = 0{,}5$ dioptrii. În cazul unei lentile divergente cu $-f = 20$ cm, $\frac{1}{f} = -5$ dioptrii (la lentilele divergente focarul fiind virtual, distanța focală se consideră cu semnul $-$).

Scanned with OKEN Scanner

70. **Distanța focală în funcție de indicele de refracție al lentilei și de razele de curbură ale fețelor.** Cunoscînd razele de curbură (R_1 și R_2) ale fețelor lentilei și indicele de refracție al lentilei (n), se obișnuiește a se exprima distanța focală f și în funcție de aceste mărimi. Relația matematică folosită în acest caz este:

$$f = \frac{1}{(n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)} \qquad (26)$$

în care am considerat valorile absolute ale razelor de curbură și ale distanței focale. Această relație este folosită în calcule, atît pentru a afla distanța focală cît și pentru a afla distanțele: p, p', R_1, R_2, sau pentru a afla indicele de refracție n.

71. **Grosismentul lentilei. Mărirea liniară.** Uneori, în rezolvarea diferitelor probleme de optică se folosesc și noțiunile de mărire liniară și grosisment al unei lentile. Prin mărirea liniară a lentilei se înțelege raportul dintre mărimea liniară a imaginii și mărimea liniară a obiectului. Din figura 96, de exemplu, se vede că: $\frac{A'B'}{AB} = \frac{p'}{p}$, AB' este mărimea liniară a imaginii și AB este mărimea liniară a obiectului.

Prin grosisment se înțelege raportul dintre lungimea imaginii pe retină cînd ochiul privește prin lentilă și cînd ochiul privește obiectul fără lentilă.

72. **Aberațiile lentilelor.** Pentru ca o lentilă să fie apreciată ca bună, trebuie ca imaginea dată de ea să îndeplinească următoarele condiții:

a) Imaginea să fie precisă, adică fiecărui punct al obiectului să-i corespundă un punct al imaginii. O astfel de imagine se numește stigmatică.

b) Imaginea să fie plană, adică fiecărui obiect plan, perpendicular pe axa optică, să-i corespundă o imagine plană, de asemenea perpendiculară pe axa optică. Orice abatere de la aceste condiții constituie o aberație a lentilei. Aberațiile lentilelor sînt de două feluri: a b e r a ț i i g e o m e t r i-

Scanned with OKEN Scanner

ce și aberații cromatice. În cele ce urmează, vom studia *aberația de sfericitate* și *aberația cromatică*.

a) *Aberația de sfericitate*. Să efectuăm următoarea experiență. Pe o lentilă convergentă cu deschidere mare, să trimitem un fascicul larg de raze paralele cu axă optică principală (fig. 98). Cu un carton P, prevăzut cu găurele, așezat în partea cealaltă a lentilei, să izolăm din acest fascicul raze marginale, intermediare și foarte apropiate de axa optică.

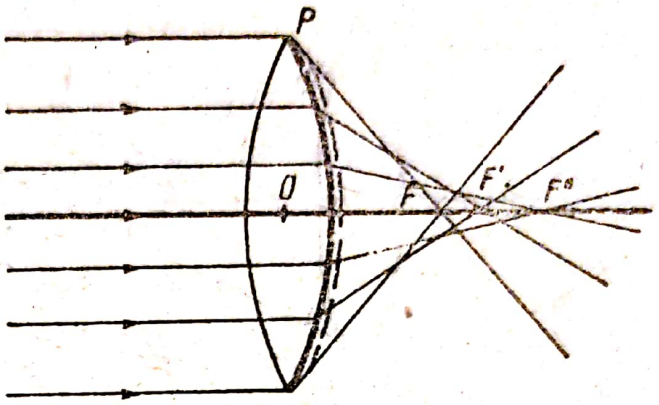


Fig. 98. Aberația de sfericitate.

Făcînd experiența la întuneric și suflînd praf de cretă de partea razelor refractate, se observă că razele marginale formează focarul în F, cele intermediare în F', iar cele din apropierea axei în F''. Înseamnă că lentila nu refractă la fel toate razele care o străbat. Cel mai mult refractate sînt razele marginale și cel mai puțin refractate sînt razele centrale (razele din vecinătatea axei optice). În general, căutînd să prindem pe ecran unul din focarele lentilei convergente, acesta nu va fi un punct, ci un cerc luminos de o anumită rază, iluminat neuniform. Pentru o anumită deplasare între F și F'', acest cerc va avea rază minimă. Acest defect al lentilelor se numește *aberație de sfericitate*.

— b) *Aberația cromatică*. Am văzut că lentilele refractă razele de lumină ca și prismele optice, dar la studiul refracției luminii albe prin prisma optică am constatat că refracția este însoțită și de dispersia luminii albe. Și în cazul lentilelor, a căror analogie cu prismele o cunoaștem, se constată fenomenul de dispersie a luminii albe, din cauza variației indicelui de refracție a lentilei pentru diferitele raze monocromatice. De exemplu, dacă trecem printr-o lentilă convergentă un fascicul larg de raze de lumină albă, paralele cu axa optică și căutăm să prindem imaginea fasciculului pe un ecran, obținem un cerc colorat pe margini în culorile spectrale. Ne putem da seama ușor de acest

Scanned with OKEN Scanner

defect, cunoscut sub numele de aberație cromatică, studiind relația (26). Din această relație vedem că, pentru R_1 și R_2 date, f este mai mic cînd n este mai mare. Cum indicele de refracție al sticlei are valori diferite pentru diferitele raze monocromatice, rezultă că, după refracția luminii albe de-a lungul axei optice principale, se vor forma o serie de focare ale diferitelor raze monocromatice, avînd la extremități focarele formate de razele violete (cele mai refrac-

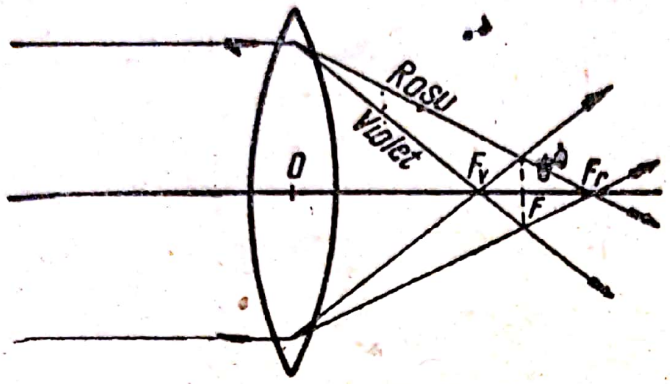


Fig. 99. Aberația cromatică.

tate) și de razele roșii (cele mai puțin refractate), așa cum se vede în figura 99. În aceasta constă aberația cromatică. Dacă ecranul de observație este așezat în F_r, imaginea obținută va fi irizată pe margini cu violet, iar dacă ecranul este în F_v, imaginea este irizată pe margini în roșu.

73. **Corectarea aberațiilor. Compunerea lentilelor.** O lentilă total lipsită de aberații este imposibil de realizat în practică; se pot construi doar lentile cu aberații foarte mici. De aceea, corectarea aberațiilor se face prin compunerea potrivită a lentilelor, astfel încît, dacă o lentilă are o aberație de sfericitate, să zicem de un sens de o anumită valoare, ea va fi combinată cu o altă lentilă, care să aibă o aberație de sfericitate de sens contrar. Convergența unui astfel de sistem compus din două lentile lipite va fi:

$$\boxed{\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2}} \qquad (27)$$

unde f_1 și f_2 sînt distanțele focale principale ale celor două lentile.

În cele ce urmează, vom vedea cum se corijează aberația de sfericitate și aberația cromatică.

Corectarea aberației de sfericitate. Mărimea aberației de sfericitate depinde atît de curbura lentilei — dacă lentila

are curbura mare sau mică, dacă este simetrică sau nu — cît și de faptul, cînd lentila este asimetrică, cu care față este îndreptată spre sursă. Se observă că o lentilă biconvexă de crown ($n = 1{,}5$) avînd raportul razelor de curbură $\frac{1}{6}$, îndreptată cu partea mai convexă spre sursa de raze paralele, aproape că nu prezintă aberație de sfericitate; la fel se comportă o lentilă plan-convexă bună. Vedem deci că

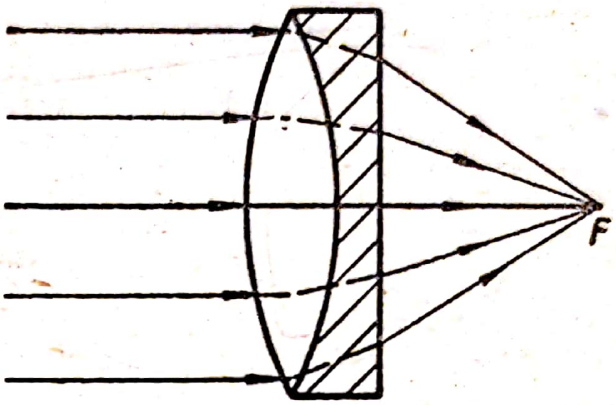


Fig. 100. Corijarea aberației de sfericitate prin compensație.

un mijloc de a micșora aberația de sfericitate este folosirea de lentile biconvexe asimetrice sau de lentile plan-convexe. Pentru lentilele convergente, aberația de sfericitate se consideră negativă, iar pentru lentilele divergente, aberația se consideră pozitivă, deoarece la aceste lentile defectul se manifestă invers. Datorită acestei proprietăți, putem micșora la minimum aberația de sfericitate combinînd o lentilă convergentă cu una divergentă, convenabil aleasă (fig. 100). O corecție completă pentru toate razele nu se poate obține. În fine, se mai poate corecta, în oarecare măsură, acest defect așezînd în calea razelor marginale o diafragmă care le oprește, astfel că imaginea este formată numai de razele apropiate de axa optică principală.

Corectarea aberației cromatice. Aberația cromatică, depinzînd de natura lentilei, poate fi corectată prin asocierea de lentile de diferite substanțe. De exemplu, asociind unei lentile biconvexe de crown o lentilă divergentă adecvată de flint, se obține un sistem de lentile, numit *acromatic*, adică lipsit de aberație cromatică. În mod mai simplu putem corecta aberația cromatică așezînd în drumul razelor marginale o diafragmă care le oprește. În ambele cazuri de aberații, cînd acestea se corectează prin lentile compuse, aceste lentile sînt alipite, formînd o lentilă unică.

Scanned with OKEN Scanner

Determinarea distanței focale a unei lentile convergente

Aparate necesare: lentile convergente, sursă de lumină (de exemplu, o lumînare sau un bec electric etc.), o riglă gradată sau un banc optic și un ecran de observație.

Mersul lucrării: așezăm sursa în fața lentilei și căutăm să-i prindem imaginea pe ecran. Măsurînd apoi distanța de la sursă la lentilă și distanța de la lentilă pînă la ecran (pe care se formează imaginea) și folosind formula lentilei convergente: $\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$, determinăm distanța focală f. Deoarece în timpul efectuării măsurătorilor putem face erori, repetăm experiența de mai multe ori și calculăm valoarea medie a distanței focale. Rezultatele determinărilor le scriem într-o tabelă ca cea de mai jos:

Nr. exp.	p cm	p' cm	f cm	f mediu

APARATE OPTICE

74. Ochiul ca aparat optic. Ochiul este organul cu ajutorul căruia percepem lumina. Alcătuirea ochiului se poate vedea în figura 101,*a* și este cunoscută de la anatomie.

Sistemul optic al ochiului este alcătuit din cristalin, umoarea apoasă și corpul vitros. Cristalinul este un mediu transparent neomogen; părțile sale periferice au indicele de refracție 1,38, iar cele interioare, aproximativ 1,41. Distanțele focale principale ale ochiului sînt diferite. Dreapta care trece prin centrul optic al cristalinului și mijlocul petei galbene (regiunea de pe retină foarte sensibilă la lumină) se numește *linia vederii directe*. Formarea imaginilor în ochi corespunde cazului cînd obiectul, a cărui imagine se formează, se află dincolo de dublul distanței focale; deci, imaginea se va forma în interiorul ochiului, de cealaltă parte a cristalinului, între focar și dublul distanței focale.

Scanned with OKEN Scanner

Va fi o imagine reală, răsturnată și mai mică decît obiectul. După cum știm de la studiul lentilelor, pe măsură ce obiectul se apropie de dublul distanței focale, imaginea lui se deplasează din focar pînă la dublul distanței focale. Pentru vederea clară a obiectului este însă necesar ca imaginea să se formeze totdeauna pe retină, pe pata galbenă, independent de poziția obiectului. O asemenea poziție invariabilă a imaginii se realizează datorită proprietății cristalinului de a-și modifica curbura, ceea ce duce la variația dis-

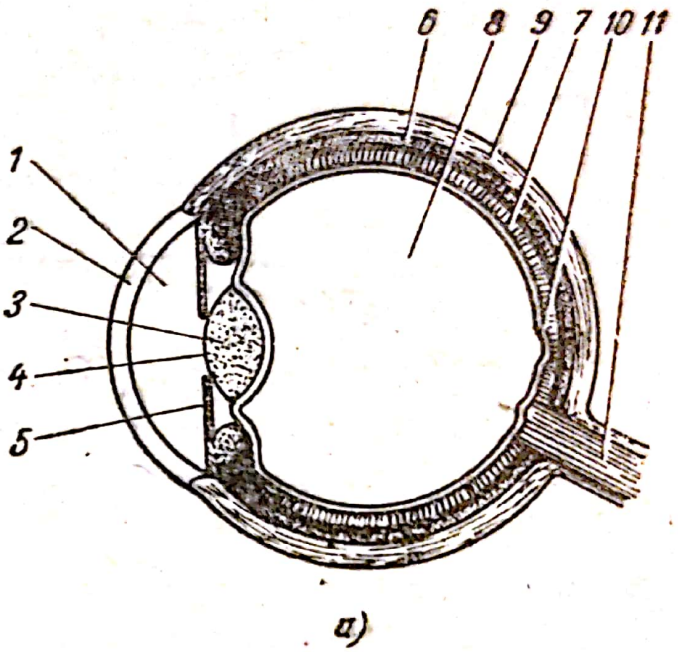
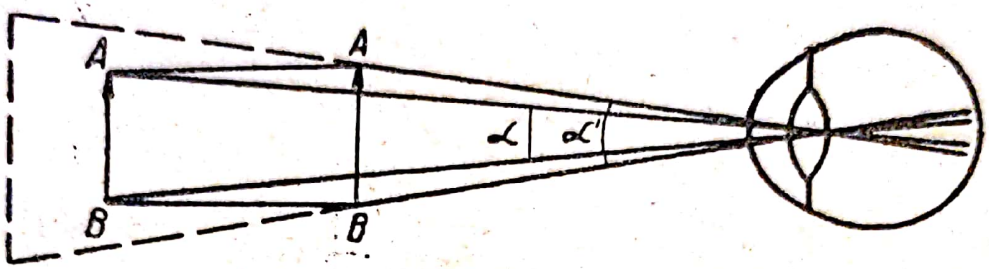


Fig. 101. Ochiul (*a*):
1 — umoarea apoasă; *2*—cornea; *3*—cristalinul; *4*— pupila; *5* — irisul; *6* — coroida; *7*—retina; *8*—corpul vitros; *9*—sclerotica; *10*—pata galbenă; *11* — nervul optic.

tanței focale. Această proprietate a ochiului se numește *acomodare*. Acomodarea ochiului este limitată. Pentru fiecare ochi există un punct, cel mai depărtat, cînd ochiul distinge obiectul fără efort, numit *punctum remotum* și un punct, cel mai apropiat, la care ochiul vede obiectul, mușchiul fiind contractat la maximum, numit *punctum proximum*. Între aceste două limite se situează *distanța vederii optime*, distanța la care ochiul vede obiectul cu minimum de oboseală. Pentru ochiul normal, punctum remotum se află la infinit; punctul proximum este situat la o distanță care variază cu vîrsta (de la 10 cm pentru adolescenți și 22 cm pentru cei aproximativ de 40 ani). Distanța vederii optime este de 25 cm.

75. **Unghiul vizual.** Prin unghi vizual se înțelege unghiul format de două drepte care trec prin centrul optic al ochiului și extremitățile obiectului (fig. 101,*b*). Acest unghi poate avea diferite valori, după mărimea obiectului privit și depărtarea lui față de ochi. În figura 101, *b* se vede că același obiect AB este văzut sub un unghi mai mare, cînd este mai aproape de ochi, și sub un unghi mai mic, cînd este mai

departe de ochi. Există un anumit unghi vizual pentru care două puncte ale obiectului se disting încă; atunci imaginile lor pe pata galbenă sînt la o distanţă limită de 0,004 mm. Dacă distanţa dintre imaginile celor două puncte este sub distanţa limită, cele două imagini se contopesc. Imaginile celor două puncte se văd separate cînd ele se formează pe două celule fotosensibile diferite, în cel mai rău caz, pe două celule vecine. Acestei distanţe limită dintre imagi-



b)

Fig. 101. Reprezentarea unghiului vizual (*b*).

nile celor două puncte îi corespunde un unghi vizual de 1′, numit *unghi vizual limită*. Unghiul limită reprezintă unghiul vizual sub care se vede un segment de 1 cm aşezat la distanţa de 34 m de ochi. Unghiul de 1′ reprezintă cea mai mică valoare pentru un ochi normal; în anumite condiţii însă s-au putut distinge două puncte separate şi sub un unghi de 15″.

76. **Defectele sistemului optic al ochiului. Ochelarii.** Cu vîrsta, capacitatea de acomodare a ochiului scade pentru obiectele apropiate. În acest caz, punctul proxim se depărtează. Defectul *se numeşte presbitism*, iar ochiul se numeşte *ochi presbit*. Acest defect se corectează, numai pentru vederea apropiată, prin lentile convergente care readuc punctum proximum la valoarea normală, fără intervenţia fenomenului de acomodare. Deseori se întîlnesc defecte de acomodare a ochilor chiar la oamenii tineri. Aceste defecte sînt: *hipermetropia* şi *miopia*. *La ochiul hipermetrop*, imaginea se formează în spatele retinei, datorită faptului că globul ocular este puţin scurtat în direcţia axei optice, iar distanţa focală a cristalinului este prea mare (cristalinul are convergenţa mică). La acest ochi, punctum remotum nu există (acomodarea este necesară şi pentru a privi la infinit). Corectarea

Scanned with OKEN Scanner

defectului se face cu lentile convergente, care măresc convergența ochiului formînd imaginea pe retină. La *ochiul miop*, convergența cristalinului este mai mare decît la ochiul normal, iar globul ocular este alungit în direcția axei optice, astfel că imaginea se formează în interiorul ochiului în loc să se formeze pe retină. Pentru ochiul miop, punctum remotum este situat la o distanță finită, care, în cazul unei miopii pronunțate, poate fi de 1,5—1 m; punctum proximum se află la o distanță mai mică de 10 cm. Miopia se corectează cu lentile divergente, care micșorează convergența cristalinului aducînd imaginea pe retină. În figura 102 sînt reprezentate trei cazuri: ochiul normal, hipermetrop și miop. Lentilele folosite pentru corectarea defectelor sistemului optic al ochiului se numesc ochelari. Pentru ochelari se folosesc în general lentile în formă de menisc convex spre exterior, pentru a înlătura și defectul de astigmatism produs de fasciculele de lumină înclinate atunci cînd ochiul se rotește în orbită.

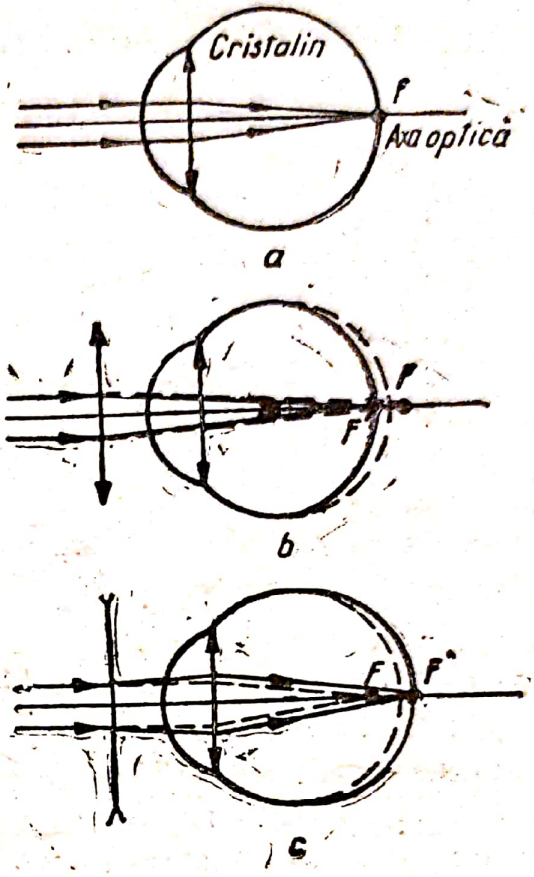


Fig. 102. Ochiul normal (*a*), hipermetrop (*b*) și miop (*c*).

77. Aparatul de proiecție. Epidiascopul. Aparatul de proiecție este un aparat optic. În general, prin aparate optice înțelegem aparatele care se bazează pe fenomenele de reflexie și refracție, folosind lentile, prisme sau oglinzi. Cunoaștem două categorii de aparate optice:

a) aparate care dau imagini reale: aparatul de proiecție, aparatul fotografic, ochiul etc.;

b) aparate care dau imagini virtuale: lupa, microscopul, luneta, telescopul, binoclul etc.

Scanned with OKEN Scanner

Aparatul de proiecţie dă imagini reale mai mari decît obiectul, care, proiectate pe un ecran, să fie văzute simultan de mai mulţi observatori. Cînd aparatul este destinat să proiecteze imagini ale obiectelor de pe clişee transparente (diapozitive), se numeşte *diascop*, iar cînd este destinat să proiecteze imagini de pe clişee şi obiecte netransparente

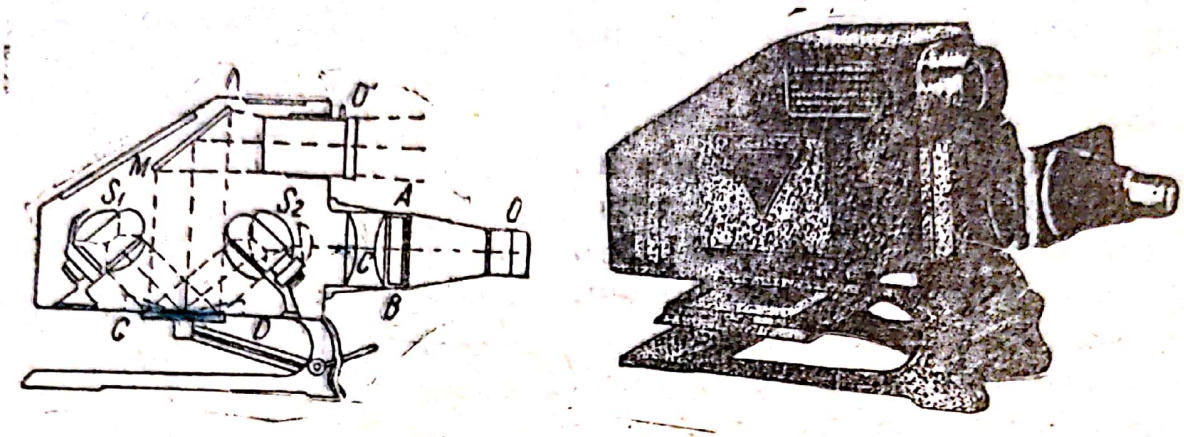


Fig. 103. Epidiascop.

(fotografii de pe cărţi etc.) se numeşte *episcop*. Un aparat de proiecţie care întruneşte ambele calităţi se numeşte *epidiascop*. Figura 103 reprezintă schema unui epidiascop simplu şi aspectul său exterior.

După cum se vede în figură, aparatul se compune din următoarele părţi: o cutie metalică înnegrită în interior, în care se află una sau două surse puternice de lumină (S_1, S_2), prevăzute cu oglinzi concave pentru concentrarea razelor de lumină asupra obiectului. Apoi, pentru partea de diaproiecţie (proiecţie după diapozitive), o lentilă numită *obiectiv O* care proiectează pe ecran imaginea obiectului de pe diapozitivul aşezat în suportul *AB*. Un *condensor C* format dintr-un sistem de lentile, avînd o distanţă focală mică, concentrează lumina care vine de la sursă asupra diapozitivului, pentru ca iluminarea pe ecran să fie suficientă. Pentru partea de epiproiecţie (proiecţie după fotografii) se foloseşte de asemenea o lentilă obiectiv *O'* pentru formarea imaginii pe ecran şi o oglindă plană *MN*, înclinată la 45° faţă de orizontală, pentru a proiecta imaginea obiectului aşezat în plan orizontal, pe ecranul vertical. Obiectul care trebuie proiectat (de exemplu, o fotografie) se aşază pe suportul *CD* şi se concentrează lumina sursei asupra lui; razele reflectate de obiect pe direcţia verticală sînt reflectate din nou de oglinda plană *MN* pe direcţia orizontală

către lentila obiectiv care formează imaginea pe ecran. În ambele cazuri, pentru a obține o imagine reală și mărită așezăm obiectul între dublul distanței focale și focarul lentilei obiectiv, mai apropiat de focar (v. formarea imaginilor în lentilele convergente). Trebuie menționat că, dacă imaginea de pe ecran este mai mare, iluminarea ei este mai mică. Deci, pentru a observa clar imaginea, ea nu trebuie proiectată prea mare.

Aparatul de proiecție are o foartă largă utilizare în școli, instituții de cercetări, săli de conferințe etc.

Tot din categoria aparatelor de proiecție face parte și *cinematograful*, care, dînd imagini mărite, este prevăzut cu surse puternice de lumină și proiectează aceste imagini astfel încît dă impresia că ele ar fi în mișcare. Această impresie de mișcare se explică prin persistența senzației vizuale (imaginea unui obiect persistă aproximativ 0,1 s după dispariția obiectului). Proiectînd imaginile cu o viteză mai mare de 10 imagini pe secundă (15—24 imagini/s) și întrerupînd lumina tot de atîtea ori se produce impresia de mișcare. Imaginile sînt înregistrate pe o peliculă transparentă (film), pe care de obicei se înregistrează și sunetul (cinematograful sonor).

Înregistrarea imaginilor pe pelicula fotografică (film) se face cu ajutorul unui aparat special, care permite fotografierea a 15—25 imagini pe secundă (ca la redare), numit aparat de filmat. Uneori, fotografierea se face și cu viteze mai mici sau foarte mari, după cum este necesar.

Importanța cinematografului. Cinematograful, sau mai bine-zis filmul, prezintă o mare importanță ca factor ce ajută la ridicarea nivelului cultural al maselor de oameni ai muncii, dar în același timp prezintă o importanță deosebită în diferite domenii de activitate: industrie, medicină, agricultură, astronomie, fizică etc. Diferitele fenomene din natură sau provocate de către om se desfășoară cu viteze diferite. Unele se petrec așa de lent sau de rapid încît ochiul omului nu poate sesiza schimbările calitative ce au loc în timpul evoluției lor. Înregistrîndu-le pe peliculă cu o viteză corespunzătoare (de la 1 imagine pe oră la cîteva zeci de mii de imagini pe secundă) și, păstrînd viteza de proiecție, de 24 imagini pe secundă, constantă, fenomene care s-au desfășurat în luni de zile, sau în miimi de secundă pot fi vizionate în cîteva minute și studiate în bune condițiuni. Filmul, sensibil la radiațiile ultraviolete și infra-

Scanned with OKEN Scanner

roșii, ne face vizibile lucruri pe care în mod obișnuit ochiul nostru nu le poate percepe și în același timp nu influențează cu nimic evoluția fenomenului înregistrat.

Datorită acestor însușiri, cinematografia are numeroase aplicații în știință și tehnică. Spre exemplu, în tehnică, prin filmarea unor procese, ca: arderea în motoarele Diesel sau cu benzină, mișcarea organelor de mașini, a elicelor de avioane etc. se poate lămuri modul cum decurg aceste procese. În fizică, prin filmare se obțin date cu privire la diferite fenomene: propagarea undelor sonore, fenomene balistice, descărcări electrice în gaze etc.

În biologie, filmarea cu viteză redusă ajută la studierea încolțirii semințelor, înflorirea și dezvoltarea plantelor, creșterea și evoluția celulelor și a culturilor bacteriene ș.a.

În medicină studiul imaginilor filmate ajută medicul la diagnosticarea corectă a unei boli.

Din aceste exemple ne putem da seama de importanța cinematografului ca factor de culturalizare cît și pentru știință și tehnică.

În anii regimului democrat-popular a fost înființat în țara noastră Complexul cinematografic de la Buftea și Studioul „Alexandru Sahia", cît și secții cinematografice în diferite instituții și uzine.

78. **Aparatul fotografic.** Aparatul fotografic este un alt tip de aparat optic, care dă imagini reale, dar mai mici decît obiectele respective (observație: în cazul fotografiilor la microscop, se obțin imagini mărite). Partea principală a aparatului fotografic este obiectivul, care este o lentilă convergentă L sau un sistem convergent de lentile (fig. 104), corectat de aberațiile de sfericitate, cromatice etc.

Claritatea imaginii se realizează prin deplasarea obiectivului sau a obiectului de fotografiat (punerea la punct a aparatului). Aparatul este prevăzut cu o diafragmă variabilă, care reglează fluxul luminos ce pătrunde în aparat și un obturator care lasă să pătrundă lumina în aparat numai

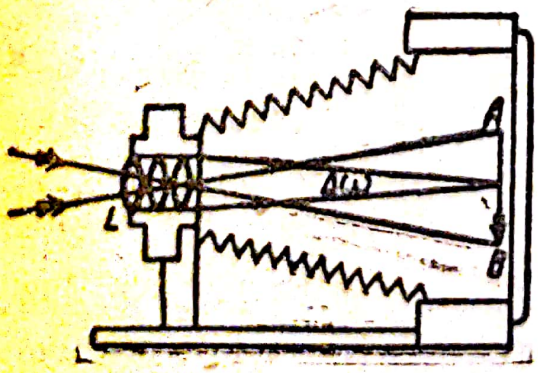


Fig. 104. Schema optică a aparatului fotografic.

Scanned with OKEN Scanner

atunci cînd fotografiem. Imaginea se formează pe o placă fotografică (sau un film) similară retinei. Elementele fotosensibile ale plăcii fotografice (de exemplu, particule de AgBr) sînt însă mai mari decît elementele fotosensibile ale retinei. Placa sau filmul sensibil sînt protejate de o cameră obscură.

Fotografierea. Aşezăm obiectul de fotografiat în faţa aparatului astfel încît să fie cît mai luminat şi punem la punct aparatul. Apăsăm pe obturator şi imaginea luminoasă a obiectivului impresionează placa sau filmul sensibil din camera obscură.

Developarea. După ce am fotografiat, trebuie să facem vizibilă imaginea de pe placa sensibilă, adică trebuie să *developăm.* În acest scop scoatem placa din aparat şi o introducem într-o soluţie numită revelator, sau baie de developare, care pune în libertate argintul din bromura de argint impresionată de lumină. Din această cauză, pe părţile impresionate se depune un praf negru de argint metalic. Iată o reţetă de revelator:

1 g — metol,
18 g — sulfit de sodiu anhidru,
2,5 g — hidrochinonă,
1 g — bromură de potasiu,
1 litru de apă.

Fixarea are loc după developare şi are ca scop să împiedice lumina să acţioneze asupra plăcii pe care s-a format imaginea şi să înlăture toate urmele de AgBr din locurile neimpresionate. Ca fixator se foloseşte o soluţie de hiposulfit de sodiu în apă, de exemplu, 200 g hiposulfit la 1 litru de apă. Dacă este posibil se adaugă şi 5 — 10 cm de acid acetic glacial.

După fixare, placa se spală bine cu apă curată pentru a îndepărta orice urmă de revelator şi fixator, precum şi sărurile obţinute; apoi se usucă într-o cameră fără praf şi fără curenţi de aer. Atît developarea cît şi fixarea se fac la întuneric şi se controlează din cînd în cînd la lumină roşie. Pe placă sau film, părţile deschise ale obiectului apar negre, iar părţile închise apar deschise. Acesta este negativul fotografiei.

Pozitivul. Pentru obţinerea fotografiei propriu-zise se aşază, într-o cutie specială, numită ramă de copiat, prevăzută cu un perete de sticlă, pe negativ o hîrtie sensibilă şi se expune un timp oarecare la lumină. După expunere, hîrtia impresionată se tratează ca şi negativul. După tratare se obţine imaginea asemenea cu obiectul sau *pozitivul.*

Importanţa fotografiei. În afară de importanţa pe care o prezintă pentru fiecare familie sau persoană, fotografia prezintă o mare importanţă din punct de vedere cultural şi ştiinţific. Prin fotografie se pot face cunoscute maselor largi frumuseţile şi bogăţiile patriei, realizările oamenilor

Scanned with OKEN Scanner

muncii etc. Monumente rare, pe cale de dispariție, pot fi păstrate pentru studiu, prin fotografiere.

Fenomene rare sau fenomene care durează scurt timp pot fi fotografiate și studiate. Fotografia este folosită în diferite științe, ca: fizica, astronomia, medicina etc.

79. **Lupa.** Lupa face parte din categoria aparatelor optice care dau imagini virtuale și se folosește pentru observarea obiectelor mici. Lupa este cel mai simplu aparat din această categorie (i se mai zice și microscopul simplu). Este formată dintr-o lentilă convergentă cu distanță focală mică (convergența mare). Imaginea dată de lupă este virtuală, dreaptă și mai mare decît obiectul. Pentru aceasta, după cum știm, trebuie să așezăm obiectul între focar și lentilă (fig. 96, *b*). Imaginea se poate obține la distanța vederii optime sau la infinit. În cel de-al doilea caz, așezăm obiectul în apropierea focarului principal. În ambele cazuri, grosimentul este raportul dintre imaginile obiectului pe retină, cînd obiectul este privit prin lupă și cînd este privit fără lupă.

Matematic, grosismentul se exprimă prin relația $G = \frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha}$, unde α' este unghiul vizual sub care se vede obiectul privit prin lupă și α este unghiul vizual sub care se vede obiectul privit fără lupă.

După cum se poate demonstra: $G = \frac{D}{f}$, unde D este distanța vederii optime și f distanța focală a lupei. Cum $D = 25 \text{ cm} = \frac{1}{4} \text{ m}$ grosismentul G se mai poate scrie: $G = \frac{1}{4f}$.

Întrebuințările lupei sînt numeroase, mai ales în lucrările de precizie: ceasornicărie, gravură, desen, expertize. Lupa este, de asemenea, folosită de textiliști în analiza stofelor și mătăsurilor. În măsurători este folosită pentru citirea precisă la instrumentele de mare precizie.

80. **Microscopul.** Acest aparat servește pentru studiul corpurilor apropiate, dar care sînt așa de mici, încît nu le putem vedea cu ochiul liber (în limba greacă: *scopeo* = privesc, *micros* = mic). Redus la părțile sale esențiale, microscopul este format din două lentile convergente, sau sisteme

Scanned with OKEN Scanner

de lentile corectate de aberații, avînd centrele pe aceeași axă. Una dintre lentile este îndreptată spre obiectul de studiat și se numește *obiectiv*, iar prin a doua lentilă privește observatorul și se numește *ocular*. Obiectivul are distanța focală mică, iar ocularul are distanța focală mare. Cele două lentile sînt așezate într-un tub metalic înnegrit în interior.

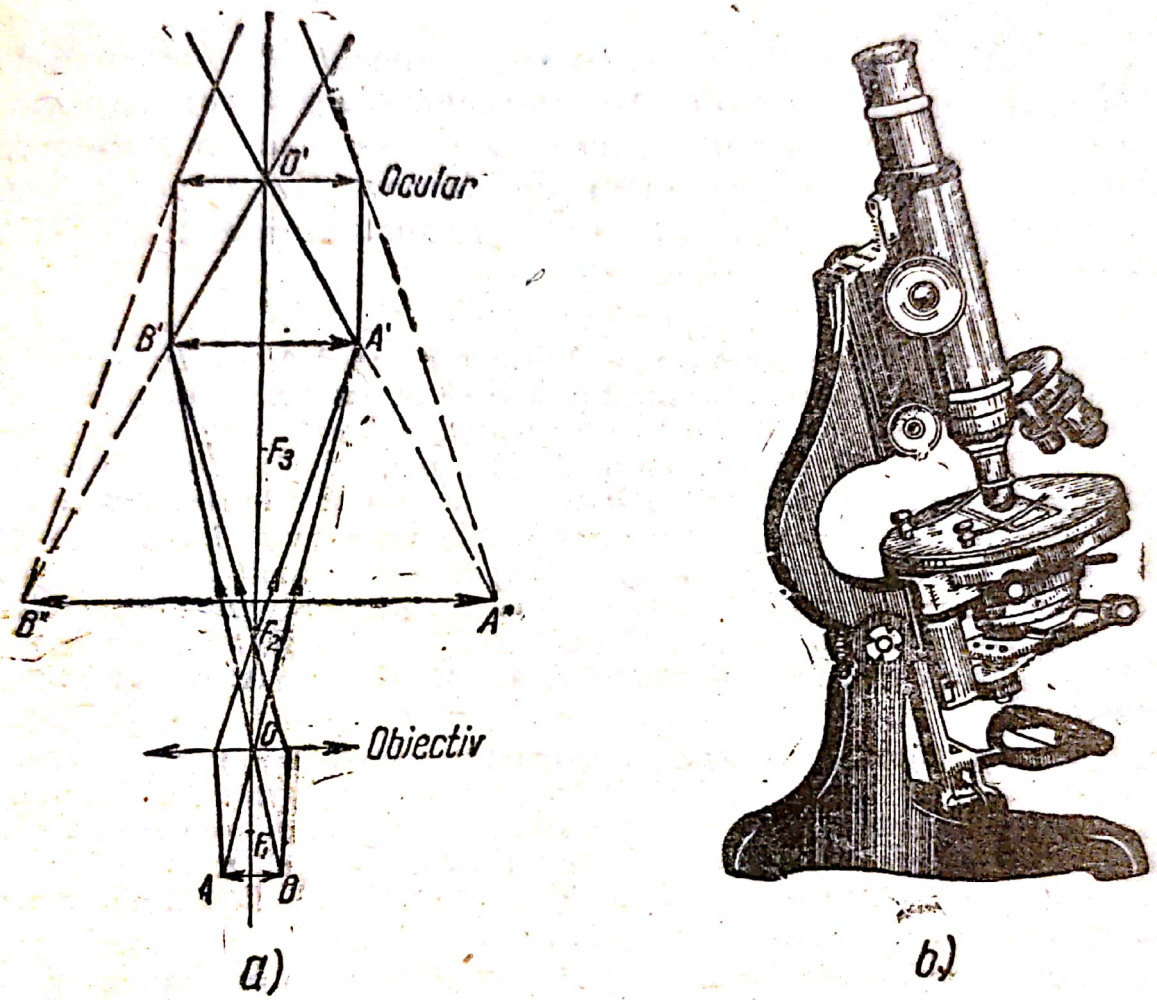


Fig. 105. Microscopul:
a — formarea imaginii în microscop; *b* — aspectul exterior al unui microscop.

Obiectivul microscopului dă o imagine reală, răsturnată și mărită a obiectului. Pentru aceasta, obiectul se așază între dublul distanței focale și focarul principal. Imaginea dată de obiectiv constituie obiectul pentru lentila ocular, care dă o imagine virtuală, dreaptă și mărită a imaginii reale dată de obiectiv. Ocularul are deci rolul unei lupe. În figura 105, *a* se observă formarea imaginii în microscop.

Cu ajutorul unui șurub micrometric putem deplasa tubul metalic astfel încît imaginea clară a obiectului să ajungă la distanța vederii optime.

Scanned with OKEN Scanner

Întrebuințările microscopului sînt numeroase și variate; fizica, chimia, medicina, anatomia, botanica, geologia etc. datorează în mare măsură progresul lor acestui aparat, pe care-l putem asemăna cu un ochi minunat, cu ajutorul căruia omul a pătruns în tainele „micului infinit", după cum cu ajutorul lunetei și telescopului a pătruns în „marele infinit".

Astfel de aparate — microscoape, aparate de fotografiat, aparte de proiecție, aparate de cinematograf sonor, binocluri de calitate și telescoape școlare — care în trecut se importau, în anii regimului de democrație populară au început să fie fabricate în țară. Industria noastră optică este în plină dezvoltare.

Ultramicroscopul. Puterea de mărire a microscopului nu poate depăși o anumită limită, deoarece imaginile nu mai apar clare. Practic, un microscop bun cu lentile mărește în jurul a 2 000 de ori. Obiectele mai mici, ale căror dimensiuni sînt de ordinul de mărime al lungimii de undă a luminii, nu pot fi văzute, din cauza fenomenelor de difracție care intervin. S-a observat însă că, dacă iluminăm lateral un preparat microscopic, astfel încît lumina să nu pătrundă direct în aparat, particulele ce compun preparatul difuzează lumina, care pătrunde în aparat indirect. În felul acesta, particulele foarte mici apar ca puncte strălucitoare în cîmpul întunecat al microscopului.

Pe acest fapt se bazează construcția *ultramicroscopului*, care a fost inventat de Siedentopf și Zsigmondy. Cu ajutorul ultramicroscopului s-a reușit să se constate existența unor particule cu dimensiuni $6 \cdot 10^{-6}$ mm. Defectul său constă în faptul că se pot trage concluzii cu privire la poziția și deplasarea acestor particule, fără a putea distinge forma lor.

Un pas uriaș în microscopie a fost realizat prin *inventarea microscopului electronic*, care nu mai folosește lentile optice, ci așa-zisele lentile electronice. Puterea de mărire a microscopului electronic este cuprinsă între 10 000 și peste 100 000 ori.

În fine, merită a fi menționat *microscopul cu emisie de ioni*, construit de prof. E.W. Müller, cu ajutorul căruia a putut fotografia atomii izolați de pe suprafața unui solid.

81. **Luneta.** Luneta este un aparat optic destinat pentru observarea obiectelor mari, dar depărtate, mărind unghiul vizual. Luneta dă imagini virtuale. Luneta destinată pentru observarea corpurilor cerești se numește *lunetă astronomică*, iar cea destinată observării corpurilor terestre se numește *lunetă terestră*. Deosebirea dintre ele constă în faptul că luneta astronomică dă imagini răsturnate, iar luneta terestră dă imagini drepte.

Scanned with OKEN Scanner

Luneta astronomică a fost construită în 1611 de Kepler. În forma ei cea mai simplă, luneta astronomică este constituită, ca și microscopul, din două lentile convergente (numite obiectiv și ocular) cu centrele optice pe aceeași axă, montate la extremitățile unui tub înnegrit în interior. Distanța focală a obiectivului este mare, iar distanța focală a

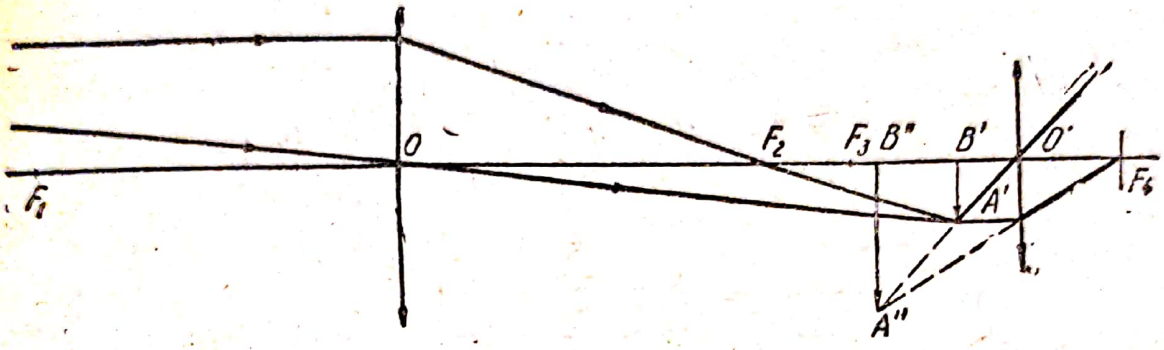


Fig. 106. Formarea imaginii în luneta astronomică.

ocularului este mică. Obiectivul dă o imagine reală, răsturnată și micșorată a obiectului, situată în vecinătatea focarului. Această imagine constituie obiectul pentru ocular, care dă o imagine virtuală, dreaptă și mărită a imaginii dată de obiectiv. Ocularul are deci rolul lupei. Pentru aceasta, imaginea reală dată de obiectiv trebuie să se formeze între focarul ocularului și ocular. Pentru înlăturarea aberațiilor lentilelor se folosesc în loc de lentile simple sisteme de lentile corectate de aberații. Figura 106 reprezintă formarea imaginii într-o lunetă astronomică.

O bună lunetă astronomică trebuie să dea o imagine clară, suficient de luminoasă și să aibă o putere de separare mare. Aceste condiții se realizează prin mărirea grosismentului și prin folosirea de obiective de diametru mare. Astăzi s-a ajuns să se construiască obiective cu diametrul pînă la 1 m. O depășire a acestei dimensiuni nu s-a putut realiza pînă acum din cauza dificultăților de șlefuire.

Luneta terestră, așa după cum s-a spus, este destinată observării corpurilor terestre. Putem obține o lunetă terestră dintr-o lunetă astronomică, dacă între obiectivul și ocularul acesteia introducem o lentilă convergentă numită *vehicul*. Această lentilă are rolul de a îndrepta imaginea răsturnată dată de obiectiv, astfel că ocularul va da o imagine dreaptă, virtuală și mărită. De obicei, vehiculul se compune din două lentile convergente și, pe lîngă efectul

Scanned with OKEN Scanner

de îndreptare a imaginii, produce și o lungire a lunetei terestre (lungirea drumului razelor) față de luneta astronomică. Figura 107 reprezintă formarea imaginii în luneta terestră.

Îndreptarea imaginii se mai poate obține dacă folosim ca ocular o lentilă divergentă, așezată între obiectiv și ima-

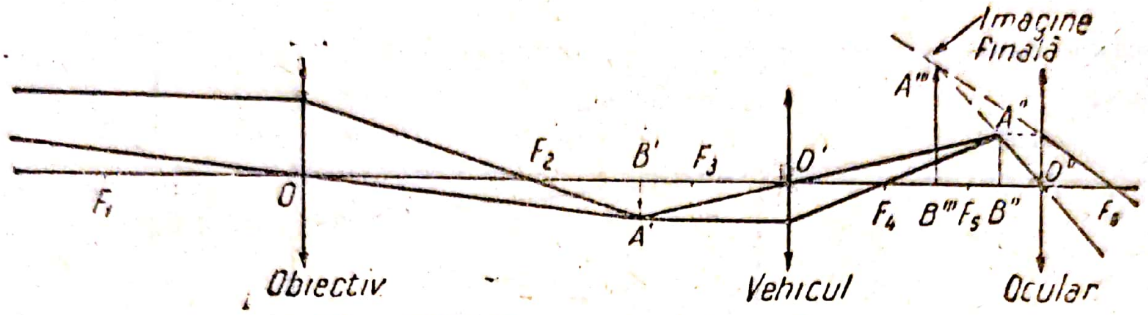


Fig. 107. Formarea imaginii în luneta terestră.

ginea reală dată de el. În acest caz, ocularul va da o imagine virtuală, dreaptă și mărită. O astfel de lunetă se numește „luneta Galilei", deoarece a fost construită pentru prima dată de către Galileo Galilei (1609).

82. **Binoclul cu prisme.** Combinînd două lunete Galilei, obținem un binoclu. Acest binoclu prezintă însă dezavantajul că are un cîmp de vedere mic, care poate fi mărit numai dacă mărim dimensiunile lunetelor, ceea ce face ca și greutatea aparatului să crească. Acest inconvenient este înlăturat de *binoclul cu prisme*. La acest binoclu, îndreptarea imaginii este obținută cu ajutorul unor prisme cu reflexie totală (fig. 108), astfel că razele de lumină suferă o reflexie multiplă înainte de a ajunge la ocular. În modul acesta, drumul razelor se lungește fără a lungi aparatul, care se va îngroșa însă puțin. Pentru aceeași putere de mărire, un binoclu cu prisme va avea un volum mai mic decît un binoclu fără prisme și un cîmp de vedere

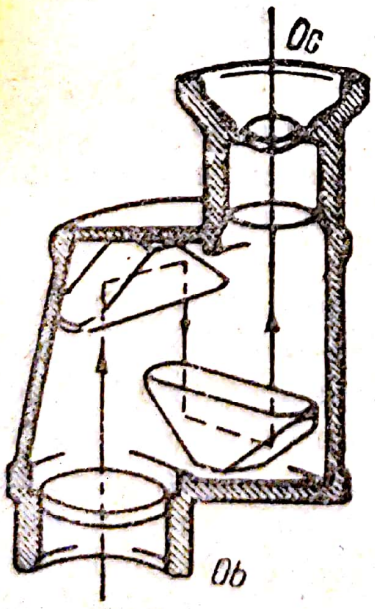


Fig. 108. Secțiune prin tubul unui binoclu cu prisme.

ceva mai larg, ceea ce face ca acest binoclu să fie utilizat mai mult. Se cunosc diferite tipuri de binocluri: binoclu de cîmp, de teatru etc.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se numește refracție și care sînt legile ei?
2. Ce înțelegem prin reflexie totală și în ce condiții se produce?
3. Să se construiască mersul razelor de lumină printr-o prismă cu reflexie totală.
4. Ce aplicații tehnice are reflexia totală?
5. Care sînt efectele refracției atmosferice?
6. Cum vedem un obiect privit printr-o lamă cu fețe paralele și de ce?
7. Ce este prisma optică și care sînt elementele ei?
8. Ce efecte are prisma optică asupra luminii albe?
9. Ce sînt lentilele? De cîte feluri sînt? Care sînt elementele lor?
10. Cum se formează imaginile în lentile?
11. Ce este convergența unei lentile și care este unitatea ei de măsură?
12. Ce sînt, care sînt aberațiile lentilelor și cum se corectează?
13. Care sînt defectele ochiului (ca aparat optic) și cum se pot corecta?
14. Cum este construit epidiascopul și ce utilizări are?
15. Ce importanță prezintă fotografia?
16. Ce este lupa și ce întrebuințări are?
17. Cum este construit microscopul și cum se formează imaginea în microscop?
18. Cum este construită luneta și cum se formează imaginile în lunetă?
19. Ce este binoclul?

PROBLEME

1. O persoană care stă la început nemișcată în fața unei oglinzi plane se depărtează de ea cu 2 m. Cum a variat distanța dintre această persoană și imaginea sa?

R. Cu 4 m.

2. La trecerea unei raze de lumină din aer în sticlă se formează un unghi de incidență de 50° și un unghi de refracție de 30°. Să se calculeze indicele de refracție al sticlei.

R. 1,535.

3. O rază de lumină, trecînd din aer într-un lichid oarecare, formează un unghi de incidență de 40° și un unghi de refracție de 24°. Ce unghi de refracție se va forma, dacă unghiul de incidență devine egal cu 60, raza trecînd tot din aer în același lichid?

R. 38° 32′.

Scanned with OKEN Scanner

4. Pe fundul unui helește este înfipt un par, avînd extremitatea superioară la suprafața apei. Partea care se află în apă are lungimea de 2 m. Să se afle lungimea umbrei aruncate de par pe fundul heleșteului, dacă razele soarelui cad pe suprafața apei sub un unghi de incidență de 45°.

R. $\approx 1{,}25$ m.

5. O rază de lumină cade pe suprafața AB a unei prisme optice ABC, al cărei unghi de refracție este A. Unghiul de incidență este i_1, iar unghiul de emergență este i_2. Să se demonstreze că deviația totală $\delta = i_1 + i_2 - A$ (fig. 90).

6. O lentilă convergentă are distanța focală de 25 cm. Să se afle convergența ei.

R. 4 dioptrii.

7. Convergența unei lentile este $(-0{,}2)$ dioptrii. Să i se calculeze distanța focală și să se spună ce fel de lentilă este.

R. $f = -5$ m, divergentă.

8. Indicele de refracție al unei lentile convergente biconvexă, cu razele de curbură de 1 m, este 1,8. Să se calculeze distanța focală a lentilei.

R. 62,5 cm.

9. În fața unei lentile convergente se află o lumînare aprinsă, la distanța de 50 cm de centrul optic al lentilei. Imaginea lumînării este situată la distanța de 60 cm de obiect. Să se calculeze distanța focală a lentilei.

R. 27,3 cm.

10. O lumînare aprinsă este așezată la distanța de 1 m de un ecran. Între ecran și lumînare se așază o lentilă convergentă cu distanța focală de 9 cm. La ce distanță de lumînare trebuie pusă lentila, ca imaginea clară a lumînării să se formeze pe ecran?

R. la 90 cm, sau la 10 cm.

11. Un miop vede clar obiectele cuprinse între distanțele de 5 și 50 cm. De ce fel de ochelari se va putea servi pentru a vedea clar obiectele foarte îndepărtate și care va fi distanța focală a acestor ochelari? Un al doilea miop care nu distinge obiectele dincolo de 30 cm se servește de aceiași ochelari; se întreabă pînă unde se va întinde vederea distinctă a acestora?

R. 2 dioptrii și -50 cm pentru primul,
$d = 75$ cm pentru al doilea.

12. Obiectivul unui aparat de proiecție are distanța focală de 15 cm. Imaginea de pe diapozitiv se prinde pe un ecran așezat la distanța de 4,65 m de obiectiv. Să se afle de cîte ori este mai mare imaginea decît obiectul?

R. de 30 ori.

Scanned with OKEN Scanner

13. Să se calculeze distanța de la care a fost fotografiat un tren știind că înălțimea unui vagon este de 9 mm pe fotografie și de 3 m în realitate. Convergența obiectivului este de $6\frac{2}{3}$ dioptrii.

R. ≈ 50 m.

14. Un obiectiv fotografic este format din două lentile alipite, una biconvexă de crown, iar cealaltă menisc divergent de flint. Razele de curbură ale fețelor lentilei convergente sînt egale cu raza de curbură a feței concave a lentilei divergente, iar fața liberă a lentilei divergente are raza de curbură egală cu dublul razei celeilalte fețe. Știind că indicele de refracție al crownului este de 1,52, al flintului de 1,68, iar distanța focală a sistemului $F = 15$ cm, se cere:

a) raza de curbură R a lentilei convergente;
b) distanța focală a fiecărei lentile.

(Indicație: Se va presupune că centrele optice ale celor două lentile sînt confundate.)

R. $R = 10{,}5$ cm; $f = 101$ mm; $f' = 308$ mm.

15. Obiectivul unei lunete are distanța focală de 2,75 m; lîngă lunetă se găsește o cutie cu patru oculare ale căror distanțe focale sînt de: 60 mm; 25 mm; 18 mm; 12,5 mm. Ce putere de mărire putem obține cu aceste lentile?

R. ≈ 46; 110; ≈ 153; 220.

B. OPTICĂ FIZICĂ

OPTICA ONDULATORIE

În prima parte a opticii am studiat o serie de probleme legate de propagarea rectilinie a luminii, fără a ne pune însă problema cea mai importantă: ce este lumina, care este natura ei? În capitolele ce urmează vom face cunoștință cu rezultatele cercetărilor întreprinse de fizicieni în rezolvarea acestei probleme, precum și cu cîteva fenomene optice care pledează pentru una sau alta dintre teoriile privitoare la natura luminii. Unul dintre aceste fenomene este *interferența*, pe care am întîlnit-o în studiul undelor elastice și care se manifestă și în cazul luminii. Acest fenomen, precum și altele, au făcut să se tragă concluzia că lumina este un fenomen ondulatoriu. Spre deosebire de undele elastice, undele luminoase sînt de natură electromagnetică, ca și undele hertziene. Acest lucru va fi discutat ulterior.

Scanned with OKEN Scanner

83. **Interferența luminii în lame subțiri.** Să efectuăm următoarea experiență simplă: în flacăra unui bec de gaz aflat într-o cameră întunecată sau a unei lămpi de spirt să introducem o bucățică de azbest muiată într-o soluție de sare de bucătărie, pentru a obține o flacără monocromatică galbenă. În fața flăcării să ținem, apăsînd bine una pe alta, două plăci de sticlă, astfel încît să vedem imaginea flăcării. Vom vedea această imagine brăzdată de un șir de benzi (franje) întunecate, separate de dungi strălucitoare de lumină galbenă. Dacă punem o fîșie îngustă de hîrtie între plăci, franjele se îndesesc. Fenomenul observat ne amintește despre maximele și minimele produse prin interferența undelor elastice (în particular, maximele și minimele de intensitate sonoră) și sugerează ideea că lumina are o structură ondulatorie. Cum sticla este transparentă pentru lumină, rezultă că apariția dungilor întunecate se explică numai prin suprapunerea și compunerea undelor luminoase.

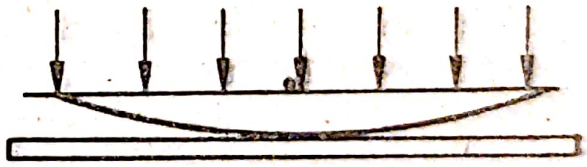
Acest fenomen este numit *interferența luminii*. Ca și interferența undelor elastice, și fenomenul de interferență a luminii poate apărea numai dacă undele luminoase, care interferă sînt coerente, deoarece numai în acest caz amplitudinea undei rezultante va fi constantă în timp, însă de valori diferite de la un punct la altul. Astfel, în unele puncte ale spațiului, unde amplitudinea este maximă vor apărea dungi luminoase (maximele de interferență), iar în punctele unde amplitudinea undei rezultante este minimă apar dungi întunecate (minime de interferență). Dacă undele nu sînt coerente, fenomenul de interferență luminoasă nu se mai observă, deoarece amplitudinea undei rezultante variază în spațiu și în timp așa de repede încît ochiul nu sesizează aceste variații. În experiența descrisă mai sus, condiția de coerență este îndeplinită, deoarece undele luminoase provin de la aceeași sursă, deci au aceeași frecvență. După cum se va vedea în paragraful 85, între undele ce interferă, există o diferență de drum constantă, deci un defazaj constant.

Din experiența de mai sus, precum și din alte experiențe rezultă că lumina este un fenomen ondulatoriu (altfel nu se poate explica fenomenul de interferență). Totuși nu putem trage concluzii asupra naturii undelor luminoase, pe care nu trebuie să le confundăm cu undele elastice.

Scanned with OKEN Scanner

Să înlocuim cele două plăci de sticlă, din experiența anterioară, printr-o peliculă de săpun întinsă pe un cadru și să înlocuim succesiv lumina galbenă cu una roșie, verde etc. Și în acest caz observăm formarea franjelor luminoase și întunecate, numai că lățimea lor variază după culoarea luminii folosite. Dacă facem această experiență în lumina albă vom observa pelicula colorată în cele mai variate culori, fenomenul fiind mai complex.

84. **Inelele lui Newton.** Pentru a vedea în ce constă acest fenomen, să efectuăm următoarea experiență: pe suprafața plană a unei plăci de sticlă (fig. 109) să așezăm o lentilă plan-convexă, cu raza de curbură mare, cu fața convexă pe sticlă și s-o iluminăm cu un fascicul de lumină monocromatică. Datorită stratului de aer dintre cele două suprafețe, care se îngroașă de la punctul de contact al lentilei cu fața plană a plăcii de sticlă, spre margini, undele de lumină reflectate de suprafața superioară și cea inferioară a stratului de aer vor interfera, formînd inele concentrice întunecate și luminoase, a căror intensitate scade de la centru spre periferie. Succesiunea inelelor luminoase și întunecate are loc astfel: dacă privim inelele dinspre lentilă (prin reflexie), centrul apare întunecat (fig. 109), înconjurat de un inel luminos, după care urmează un inel întunecat ș.a.m.d. Dacă privim aceste inele dinspre lama de sticlă (prin refracție), centrul ne apare luminos, înconjurat de un inel întunecat, după care urmează un inel luminos ș.a.m.d.



85. **Explicarea interferenței.** Cu ajutorul experiențelor descrise în paragrafele 83 și 84, care stabilesc caracterul ondulatoriu al luminii, vom putea explica fenomenul de interferență a undelor de

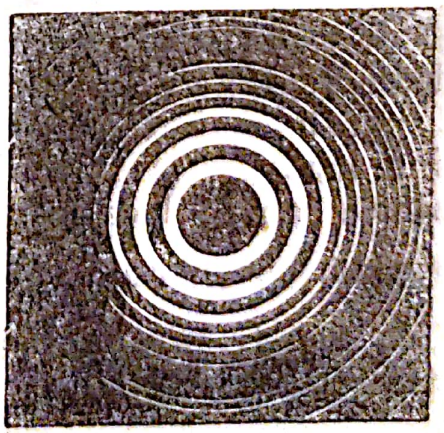


Fig. 109. Inelele lui Newton obținute prin reflexie.

Scanned with OKEN Scanner

lumină. Pentru aceasta să considerăm o lamă subțire de sticlă cu fețe paralele, luminată de un fascicul monocromatic de raze paralele (fig. 110), provenind de la sursa S. Raza SI_1, întîlnind fața AB a lamei, o parte se reflectă (I_1S'), iar altă parte se propagă în lamă, refractîndu-se (I_1I_1'), cu o viteză mai mică decît în aer. Ajungînd la fața CD, o parte din raza I_1I_1' se refractă și trece din nou în aer, iar altă parte se reflectă și, ajungînd la fața AB, se poate refracta ieșind în aer după direcția I_2S_1', direcția după care s-a reflectat

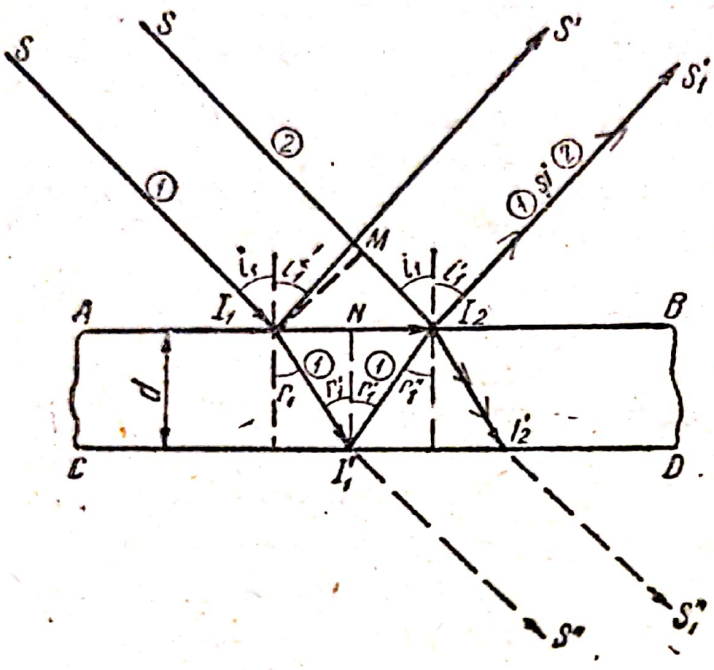


Fig. 110. Explicarea interferenței.

raza SI_2; astfel, pe direcția I_2S_1' se propagă două unde de lumină coerente care vor interfera. Undele sînt coerente, deoarece provin de la aceeași sursă, iar diferența de drum și deci și diferența de fază este constantă (pentru aceeași înclinare a razelor incidente și aceeași grosime a lamei).

În timp ce unda SI_1 parcurge, în interiorul lamei, drumul $I_1I_1' + I_1'I_2$ unda SI_2, trebuie să parcurgă numai distanța MI_2. Deoarece știm că în sticlă viteza luminii este mai mică decît în aer, sticla fiind un mediu mai refrigent, unda care suferă o reflexie în sticlă rămîne în urma undei SI_2. Deci, între undele SI_2 și undele $SI_1I_1'I_2$ există o diferență de drum care determină o diferență de fază. Diferența de drum depinde de grosimea lamei ale cărei fețe nu sînt perfect paralele. Fasciculul incident fiind paralel, se vor obține maxime și minime de intensitate, în funcție de grosimea lamei, localizate pe lamă. Dacă diferența de drum este egală cu un număr întreg de λ (un număr par de $\frac{\lambda}{2}$), undele vor fi în concordanță de fază și se va obține un maxim. Dacă diferența de drum va fi un număr impar de

$\frac{\lambda}{2}$, undele vor fi în opoziție de fază și se va obține un minim. Trebuie să se țină seama și de diferența de drum introdusă prin reflexia la suprafață de separare dintre cele două medii. Dacă reflexia se produce la suprafața de separare dintre un mediu mai puțin refringent și un mediu mai refringent, reflexia se produce cu pierdere de $\frac{\lambda}{2}$. Ca dovadă, inelele lui Newton (care se obțin tot datorită variației de grosime), produse prin reflexie, au în centru un minim de interferență. Din această cauză, lama ne apare brăzdată de dungi luminoase și întunecate. Fenomenul descris mai sus reprezintă interferența prin reflexie, dar el poate apărea și prin refracție. Explicația poate fi urmărită tot pe figura 110, observînd mersul razelor refractate. După cum se observă în figură, în punctul I_1' are loc atît o refracție a razei I_1I_1' cît și o reflexie după direcția $I_1'I_2$. Raza $I_1'I_2$ ajungînd pe fața AB în I_2, o parte se reflectă după direcția I_2I_2', interferînd cu raza refractată SI_2I_2' și, ieșind împreună din sticlă, după direcția $I_2'S_1''$, vor produce un maxim sau un minim. Vor interfera totdeauna numai undele coerente.

Condiția de interferență. Să ne propunem să stabilim condiția de interferență a razelor SI_1 și SI_2, pe care, pentru simplificare, să le notăm cu *1* și *2* (figura 110). Ducînd $I_1M \perp SI_2$ (suprafața de undă), observăm că între cele două raze de lumină *1* și *2* există o diferență de drum geometric, dată de relația: $(I_1I_1' + I_1'I_2) - MI_2$. Nu această diferență ne interesează însă pe noi, ci diferența de drum optic. Pentru aceasta să observăm că porțiunea de drum $I_1I_1'I_2$ este parcursă de raza *1* în sticlă, cu o viteză mai mică decît în aer, și anume $c_{sticlă} = \frac{c_{aer}}{n}$. Echivalentul său în aer este deci dat de relația: $(I_1I_1' + I_1'I_2)n$. Raza *2* reflectîndu-se pe suprafață sticlei (mediu mai refringent decît aerul) va pierde $\frac{\lambda}{2}$ și deci drumul său se va lungi cu $\frac{\lambda}{2}$, adică drumul său real va fi $MI_2 + \frac{\lambda}{2}$. Diferența de drum optic dintre cele două raze va fi: $(I_1I_1' + I_1'I_2)n - \left(MI_2 + \frac{\lambda}{2}\right) = \Delta$. Din figură observăm că $I_1I_1' = \frac{d}{\cos r_1}$; $I_1'I_2 = I_1I_1'$; $\widehat{MI_1I_2} = i_1$ (unghiuri cu laturile perpendiculare) și deci $MI_2 = I_1I_2 \cdot \sin i_1$, iar $I_1I_2 = 2I_1N = 2 \cdot d \cdot \operatorname{tg} r_1$. Cu aceste valori expresia lui Δ devine:

$$\Delta = \frac{2nd}{\cos r_1} - \left(2d \operatorname{tg} r_1 \cdot \sin i_1 + \frac{\lambda}{2}\right).$$

Scanned with OKEN Scanner

Această expresie se mai poate scrie și astfel:

$$\Delta = \frac{2\,nd}{\cos r_1} - 2d\,\frac{\sin r_1}{\cos r_1} \cdot \sin i_1 - \frac{\lambda}{2} \quad \text{sau încă:}$$

$$\Delta = \frac{2\,nd}{\cos r_1} - 2\,d\,\frac{\sin^2 r_1}{\cos r_1} \cdot \frac{\sin i_1}{\sin r_1} - \frac{\lambda}{2}.$$

Având în vedere că $\frac{\sin i_1}{\sin r_1} = n$, expresia lui Δ devine:

$$\Delta = \frac{2\,nd}{\cos r_1} - \frac{2\,nd \cdot \sin^2 r_1}{\cos r_1} - \frac{\lambda}{2} \quad \text{sau:}$$

$$\Delta = \frac{2\,nd\,(1 - \sin^2 r_1)}{\cos r_1} - \frac{\lambda}{2}.$$

Dar $1 - \sin^2 r_1 = \cos^2 r_1$ și înlocuind această expresie în prima fracție relația devine:

$$\Delta = 2\,nd \cdot \cos r_1 - \frac{\lambda}{2}.$$

Această relație se mai poate încă transforma. Deoarece:

$$\cos r_1 = \sqrt{1 - \sin^2 r_1} \quad \text{și} \quad \sin r_1 = \frac{\sin i_1}{n}, \quad \text{rezultă:}$$

$$\Delta = 2\,nd\sqrt{1 - \frac{1}{n^2}\sin^2 i_1} - \frac{\lambda}{2}$$

sau

$$\boxed{\Delta = 2\,d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} - \frac{\lambda}{2}} \qquad (28)$$

— Dacă: $\Delta = 2k\,\frac{\lambda}{2}$, se va obține lumină (maxim de interferență),

iar dacă:

— $\Delta = (2\,k + 1)\,\frac{\lambda}{2}$, se va obține întunerie (minim de interferență, extincție); $(k = 1,\ 2,\ 3,\ \ldots)$.

Scanned with OKEN Scanner

86. **Aplicații ale interferenței.** Pe baza fenomenului de interferență a luat naștere o ramură practică a fizicii, *interferometria*, care se ocupă cu efectuarea a diferite măsurători de mare precizie. Menționăm dintre acestea: *măsurarea lungimilor de undă*, a unor radiații cu cea mai mare precizie, și *studiul suprafețelor și lungimilor*. În diferite aparate optice avem nevoia de medii transparente cu fețe plane cît mai perfecte. Aceasta însă nu se poate constata decît cu ajutorul interferenței. Pentru a obține o suprafață perfect plană se șlefuiește placa pînă cînd franjele de interferență sau inelele dispar. (Din observațiile zilnice cunoaștem ce imagini deformate dau oglinzile plane, din cauză că fața lor nu este perfect plană. Dintr-un exemplu anterior am văzut că lumina care străbate printr-un geam produce, de asemenea, fenomenul de interferență, tot din cauză că geamul nu este perfect plan).

O problemă importantă o constituie și măsurarea lungimilor. Prin interferență, Michelson a găsit în 1901 că metrul etalon de la Sèvres are 1 553 164 lungimi de undă ale radiației roșii a cadmiului. Astăzi metrul etalon se definește ca egal cu 1 650 763,73 ori, lungimea de undă în vid a radiației oranj a criptonului de masă atomică 86.

Prin interferometrie se pot *măsura variații foarte mici ale indicelui de refracție al unei substanțe*.

În ultimul timp, refractometria interferometrică își găsește aplicații în laboratoarele clinicilor, pentru studiul unor mici variații în compoziția sîngelui, provocate de anumite boli etc.

87. **Difracția luminii.** De la studiul undelor elastice ne amintim că, pe lîngă fenomenul de interferență a undelor, apare și fenomenul de ocolire a obstacolelor de către unde, cînd dimensiunile obstacolului sînt comparabile, ca mărime, cu lungimea de undă. Acest fenomen este caracteristic mișcării ondulatorii și este cunoscut sub numele de *difracție*. Ne punem acum întrebarea: dacă lumina este un fenomen ondulatoriu, nu vom întîlni și în propagarea ei fenomenul de difracție? Pentru a răspunde la această întrebare, să facem experiența următoare: în fața unei surse de lumină S (fig. 111) să așezăm un paravan P, în care să facem o deschidere circulară $ab \approx 1$mm. În partea cealaltă să așezăm, la o anumită distanță, un ecran de observație E. Pe acest

ecran vom vedea un cerc luminos, mărginit de cercuri colorate, al cărui diametru este mai mare decît ar fi trebuit să fie în cazul propagării rectilinii a luminii. Dacă experiența se face în lumină monocromatică, pe marginea cercului luminos, central, apar cercuri alternative luminoase și întunecate care devin din ce în ce mai slabe. Repetînd experiența cu o deschidere mai mică, constatăm că pata luminoasă este și mai mare. Rezultă că, în cazul trecerii lumi-

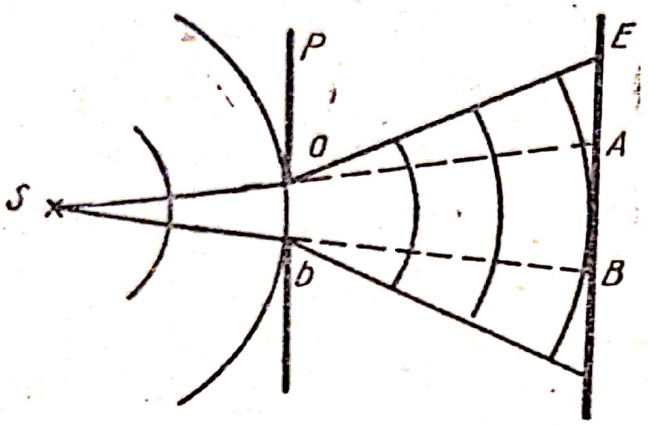


Fig. 111. Difracția luminii.

nii prin fante foarte mici, legea propagării rectilinii a luminii nu mai este respectată; lumina se propagă atunci astfel încît avem lumină și acolo unde ar trebui să nu fie. Dacă în conul de lumină limitat de fanta *ab* așezăm un corp opac de dimensiuni mici, de exemplu, un vîrf de ac, constatăm că în loc să observăm umbra lui pe ecran, vedem suprafața iluminată tocmai în locul unde ar trebui să fie întuneric. În concluzie rezultă că: *fenomenul de difracție este caracteristic și luminii și constă în ocolirea obstacolelor de dimensiuni foarte mici de către lumină și pătrunderea luminii în regiunile unde ar trebui să fie umbră.*

Experiențele arată că totdeauna difracția este însoțită de interferență. În natură, difracția se întîlnește la fenomenul numit „halo", care apare în jurul Soarelui sau al Lunii și constă din cercuri luminoase.

Explicația difracției se poate da pe baza principiului lui Huygens completat de Fresnel. Conform acestui principiu, în cazul figurii 111, fanta *ab* constituie o mică porțiune din suprafața de undă pornită din *S*. Fiecare punct luminos de pe această porțiune constituie tot atîtea surse elementare de unde luminoase coerente care, prin interferență, vor da lumină și în regiunea de umbră geometrică.

88. **Rețele optice. Determinarea lungimii de undă cu ajutorul rețelei.** *Înțelegem prin rețea optică o lamă de sticlă sau de cuarț etc. pe care s-au trasat, cu o mașină specială*

Scanned with OKEN Scanner

(mașina de divizat) un mare număr de linii fine paralele și echidistante. Ca număr pot fi pînă la 600 de linii pe un mm de lungime, iar la rețelele de calitate superioară chiar mai multe. Aceste linii sînt opace pentru lnmină, iar intervalul

Fig. 112. Proiectarea razelor difractate: maxime de difracție.

dintre două linii este transparent. Dacă însemnăm cu:

a — lărgimea unui interval transparent;

b — lărgimea unei linii opace;

N — numărul total al perechilor de linii opace și intervalele transparente de pe 1 mm de lungime, obținem relația:

$$N\ (a + b) = 1\text{mm}$$

unde $(a + b)$ este așa-numita constantă a rețelei și este dată prin construcție.

Cu ajutorul rețelei optice se poate determina lungimea de undă a unei radiații monocromatice. Pentru aceasta procedăm astfel: trimitem, perpendicular pe planul rețelei, un fascicul monocromatic de raze paralele și, cu ajutorul unei lentile convergente, proiectăm aceste raze după trecerea lor prin rețea, pe un ecran aflat în planul ei focal. Vom obține o fîșie centrală strălucitoare K, corespunzătoare poziției imaginii date de razele rectilinii, mărginită de ambele părți de o serie de benzi de intensitate luminoasă din ce în ce mai mică (fig. 112). Benzile luminoase sînt separate între ele de benzi întunecate. Cunoscînd constanța rețelei și măsurînd distanța de la prima bandă centrală pînă la prima bandă laterală, vom determina lungimea de undă a radiației respective. În acest scop să considerăm figura 113, în care am reprezentat numai două intervale transparente AB și CD și linia opacă BC. Razele de lumină fiind considerate paralele, unda ce întîlnește suprafața rețelei va fi plană și, conform principiului lui Huygens, orice puncte, spre exemplu: B, D de pe aceste intervale transparente, situate între ele la distanța $BD = a + b$ (v. figura), sînt surse de unde elementare care se propagă în toate direcțiile. Undele care se vor propaga după direcțiile paralele BB' și DD',

făcînd unghiul φ (fi) cu direcţia incidentă SD, vor avea între ele o diferenţă de drum $DR = (a + b) \sin \varphi$, care este aceeaşi pentru toate perechile de raze venind de la toate punctele intervalelor transparente. Dacă diferenţa de drum DR este egală cu un număr impar de $\frac{\lambda}{2}$, atunci, după trecerea prin lentilă pe ecran vom avea un minim (bandă întunecată), iar dacă este egală cu un număr par de $\frac{\lambda}{2}$ pe ecran apare un maxim luminos. Cunoscînd dis-

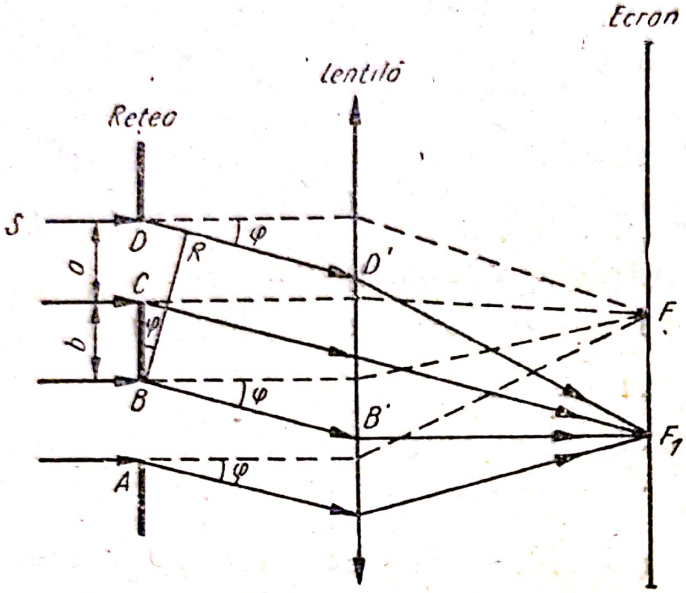


Fig. 113. Calcularea lungimii de undă cu ajutorul reţelei de difracţie.

tanţa de la reţea pînă la ecran şi măsurînd distanţa de la maximul central pînă la unul din maximele laterale, determinăm valoarea lui φ şi de aici pe λ. Dacă $DR = \lambda$, atunci, neglijînd influenţa lentilei asupra razelor de lumină, relaţia de mai sus ne dă:

$$\boxed{\lambda = (a + b) \sin \varphi.} \qquad (30)$$

În acest caz, pe φ îl determinăm măsurînd distanţa de la maximul central pînă la primul maxim lateral. Efectuînd experienţa în lumină albă, maximul central va fi alb, mărginit de o parte şi de alta de benzi colorate în toate culorile spectrului. Se obţine astfel un *spectru de difracţie*, care se deosebeşte de spectrul obţinut cu ajutorul prismei, prin aceea că deviaţiile culorilor în spectrul de difracţie sînt proporţionale cu lungimile de undă, adică maximele diferitelor culori, care se situează de o parte şi de alta a maximului central, sînt cu atît mai depărtate de acesta cu cît lungimea de undă este mai mare. Deci, în cazul spectrului luminii albe, roşul va fi deviat mai mult

decît violetul (invers decît la prismă). Datorită acestui fapt, spectrele de difracție se numesc *spectre normale*. Primele două spectre situate de o parte și de cealaltă a maximului central se numesc spectre de ordinul I, următoarele două spectre se numesc spectre de ordinul II ș.a.m.d. Experiența arată că pe măsură ce ordinul spectrului crește culorile nu se mai disting din cauza suprapunerilor. Formula (30) ne ajută să calculăm lungimea de undă a unei radiații din spectrul de ordinul I. Pentru cazul general $DR = n\lambda$, iar formula (30) capătă forma:

$$n\lambda = (a + b) \sin\varphi, \qquad (30')$$

unde n reprezintă ordinul spectrului. Cunoscînd lungimea de undă a fiecărei raze monocromatice, putem determina frecvența lor. Din relația $c_0 = \lambda\gamma$ (c_0 = viteza luminii în vid), deducem:

$$\boxed{\nu = \frac{c_0}{\lambda}.} \qquad (31)$$

Din istoricul difracției. Fenomenul difracției a fost observat prima dată de fizicianul Grimaldi, în 1665, apoi de Newton, iar prima încercare de a explica acest fenomen se datorește lui Young. Această explicație s-a dovedit însă greșită. Cel care a dat o explicație corectă, bazată pe demonstrație, a fost fizicianul francez Fresnel, care, folosind principiul lui Huygens și legile interferenței, a elaborat, în jurul anului 1815, o teorie unitară a tuturor fenomenelor de difracție. Teoria lui a fost perfecționată de către Kirchhoff.

Fresnel Augustin Jean, fizician francez (1788—1827), este cunoscut prin lucrările sale din domeniul opticii. Fresnel a emis teoria că lumina constă din oscilații transversale ale unui mediu ipotetic numit *eter*. A inventat farul lenticular.

89. **Interferența și difracția ca dovezi ce confirmă natura ondulatorie a luminii.** La studiul undelor elastice (respectiv al undelor sonore) am întîlnit fenomenele de interferență și difracție a undelor. De asemenea am întîlnit aceste fenomene și la studiul undelor electromagnetice. De aici trăgeam concluzia că: *interferența și difracția sînt caracteristice tuturor fenomenelor ondulatorii*. Natura ondulatorie a fenomenelor respective determină apariția difracției și interferenței. Invers, manifestarea interferenței și difracției în cadrul unui fenomen, a cărui natură nu o cunoaștem, duce la concluzia că fenomenul respectiv este de natură ondulatorie. Deci, întrucît în studiul luminii, care este o formă spe-

cială a materiei în mişcare, am găsit că radiaţiile luminoase interferă, dînd maxime şi minime de interferenţă şi suferă fenomenul de difracţie, tragem concluzia că lumina este de natură ondulatorie. Cu alte cuvinte, interferenţa şi difracţia luminii sînt dovezi ale naturii ondulatorii a luminii.

90. **Teoria ondulatorie a luminii.** Problema naturii luminii a preocupat pe savanţi din cele mai vechi timpuri. S-au imaginat diferite teorii care nu prezintă însemnătate, deoarece sînt bazate pe speculaţii abstracte, lipsite de baza experimentală. Primele ipoteze ştiinţifice, privitoare la natura luminii, datează din a doua jumătate a secolului al XVII-lea şi se bazează pe două concepţii diametral opuse: concepţia corpusculară şi concepţia ondulatorie. Concepţia corpusculară datează de la filozoful grec Empedocle şi stă la baza teoriei corpusculare, sau teoria emisiei, fundamentată de Newton şi susţinută de Kepler şi Laplace. După această teorie, lumina este formată din particule materiale minuscule (corpusculi), emise de corpurile luminoase, care se propagă în linie dreaptă cu o viteză foarte mare (viteza luminii). În lumina acestei teorii, Newton a explicat reflexia particulelor luminoase ca reflexia unor particule perfect elastice ce se lovesc de un obstacol, iar refracţia ca o deviaţie a particulelor luminoase datorită atracţiei ce se exercită între ele şi moleculele mediului în care se propagă lumina. Datorită acestui mod de a privi refracţia luminii se ajunge la concluzia că viteza luminii este mai mare într-un mediu mai dens decît în unul mai puţin dens.

Concepţia ondulatorie datează de la Aristot (sec. al IV-lea î.e.n.) şi a fost susţinută de Descartes, Euler şi mai ales Huygens. Acesta a formulat, pe baza ei, *teoria ondulatorie a luminii*, care a fost dezvoltată mai tîrziu de către Fresnel. În teoria sa, Huygens susţinea că lumina este formată din unde ce se propagă într-un mediu elastic continuu, numit *eter*, care umple „vidul" şi impregnează toate corpurile. Huygens a stabilit principiul care-i poartă numele şi pe baza căruia a explicat reflexia, refracţia şi dubla refracţie. Consecinţele acestei teorii au impus concluzia, contrară teoriei emisiunii, că într-un mediu mai dens viteza luminii este mai mică decît într-un mediu mai puţin dens. Verificarea experimentală, făcută de Foucault, a constituit un succes al teoriei ondulatorii asupra teoriei emisiunii. Prin

perfecţionările aduse de către Euler, care a introdus ideea periodicităţii impulsurilor luminoase şi a indicat legătura dintre culoarea luminii emise şi frecvenţa de vibraţie a sursei, precum şi de Fresnel, teoria ondulatorie reuşeşte să explice nu numai fenomenele luminoase cunoscute încă din antichitate, ci şi interferenţa şi difracţia, pe care teoria emisiunii nu le putea explica. Cu tot succesul obţinut de această teorie, admiterea naturii elastice a undelor de lumină şi mai ales introducerea eterului au creat dificultăţi extrem de mari. Astfel erau într-o totală contradicţie proprietăţile atribuite eterului. După cum s-a stabilit experimental, undele luminoase sînt unde transversale. Dacă se admite natuara elastică a undelor luminoase şi se ţine seama de frecvenţa lor foarte mare, cît şi de faptul că undele elastice transversale nu se pot propaga decît în solide, eterului trebuie să i se atribuie proprietăţile unui mediu solid, perfect elastic şi de dimensiuni, infinite. În acelaşi timp, eterul trebuie să aibă şi o densitate extrem de mică (adică să fie un mediu gazos), deoarece nu se opune mişcării corpurilor aflate în interiorul lui. Aceste contradicţii au fost înlăturate de Maxwell, care a emis, în 1865, *teoria electromagnetică a luminii*, după care lumina este un fenomen ondulatoriu de natură electromagnetică. Această teorie a fost verificată pe baza a numeroase experienţe.

Conform teoriei electromagnetice a luminii, emisă de Maxwell, oscilaţiile luminoase sînt de natură electromagnetică şi se propagă în spaţiu prin unde electromagnetice transversale, ca şi undele hertziene, deosebindu-se de acestea prin lungimea de undă foarte mică (de ordinul milimicronilor). De aici rezultă că undele luminoase au o serie de proprietăţi comune tuturor undelor electromagnetice (reflexia, refracţia, interferenţa etc.) şi o serie de proprietăţi specifice.

Datorită faptului că teoria lui Maxwell nu infirmă teoria ondulatorie a luminii, toate studiile teoretice şi experimentale şi rezultatele lor, făcute în baza teoriei ondulatorii, sînt valabile şi astăzi.

SPECTROSCOPIA

91. **Obţinerea spectrelor cu ajutorul prismei. Spectrul vizibil.** La trecerea unui fascicul de lumină albă printr-o prismă, am văzut că pe lîngă refracţia acestei raze, are loc

și dispersia ei în raze monocromatice. Experimental, punem în evidență acest fenomen cu ajutorul dispozitivului din figura 114. Facem să cadă pe prisma ABC un fascicul de raze paralele venite de la Soare. Observăm pe ecranul E lumina dispersată într-un număr mare de raze colorate ce se pierd una în alta, din care se disting cele 7 culori spectrale. Cu această experiență, Newton a demonstrat că *lumina albă este compusă dintr-un amestec de raze monocromatice.*

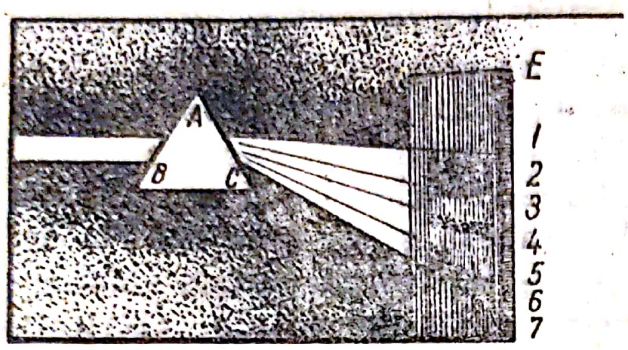


Fig. 114. Obținerea spectrului cu ajutorul prismei.

După cum știm, dispersia luminii albe se datorește variației indicelui de refracție al prismei cu frecvența razelor monocromatice care trec prin prismă. După cum se observă pe ecran, cel mai puțin refractate sînt razele roșii și cel mai mult refractate sînt razele violete. Totalitatea acestor raze formează *spectrul solar*.

Experiența arată că putem obține cu ajutorul prismei optice nu numai spectrul luminii solare, ci și al oricărui fel de lumină naturală sau artificială. Deosebirea constă în aceea că razele monocromatice obținute și nuanțele lor nu sînt în aceeași proporție în toate spectrele. De exemplu, dacă se ia pentru comparație spectrul solar și se compară spectrele date de lumina unui bec electric cu incandescență, a unei lămpi cu petrol, a unei lumînări, a unui cerc electric etc. se constată că lumina arcului electric se apropie cel mai mult de lumina solară, urmată de lumina becului electric ș.a.m.d. Cele 7 raze monocromatice care compun lumina albă formează *spectrul vizibil* și ocupă o întindere foarte mică în scara undelor electromagnetice. Spectrul vizibil se întinde de la razele roșii, cu lungimea de undă $\lambda_r = 0{,}75$ microni, pînă la razele violete, lungimea de undă $\lambda_v = 0{,}38$ microni.

92. **Spectre de emisiune.** Spectrele produse de izvoare luminoase se numesc *spectre de emisiune*. De exemplu, spectrul solar, spectrul dat de lumina becului electric, spectrul dat de un lichid sau gaz incandescent etc. sînt spectre de emisiune. Spectrele de emisiune pot fi *complete* sau *incom-*

și dispersia ei în raze monocromatice. Experimental, punem în evidență acest fenomen cu ajutorul dispozitivului din figura 114. Facem să cadă pe prisma ABC un fascicul de raze paralele venite de la Soare. Observăm pe ecranul E lumina dispersată într-un număr mare de raze colorate ce se pierd una în alta, din care se disting cele 7 culori spectrale. Cu această experiență, Newton a demonstrat că *lumina albă este compusă dintr-un amestec de raze monocromatice.*

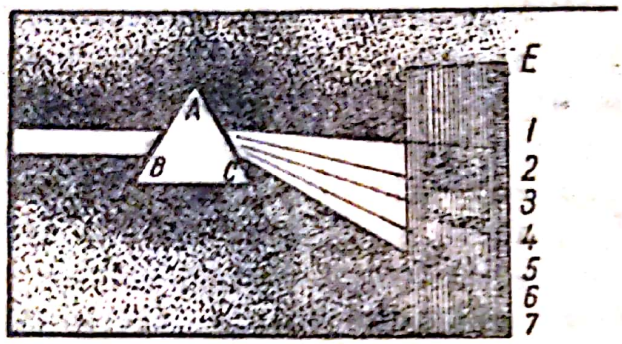


Fig. 114. Obținerea spectrului cu ajutorul prismei.

După cum știm, dispersia luminii albe se datorește variației indicelui de refracție al prismei cu frecvența razelor monocromatice care trec prin prismă. După cum se observă pe ecran, cel mai puțin refractate sînt razele roșii și cel mai mult refractate sînt razele violete. Totalitatea acestor raze formează *spectrul solar*.

Experiența arată că putem obține cu ajutorul prismei optice nu numai spectrul luminii solare, ci și al oricărui fel de lumină naturală sau artificială. Deosebirea constă în aceea că razele monocromatice obținute și nuanțele lor nu sînt în aceeași proporție în toate spectrele. De exemplu, dacă se ia pentru comparație spectrul solar și se compară spectrele date de lumina unui bec electric cu incandescență, a unei lămpi cu petrol, a unei lumînări, a unui cerc electric etc. se constată că lumina arcului electric se apropie cel mai mult de lumina solară, urmată de lumina becului electric ș.a.m.d. Cele 7 raze monocromatice care compun lumina albă formează *spectrul vizibil* și ocupă o întindere foarte mică în scara undelor electromagnetice. Spectrul vizibil se întinde de la razele roșii, cu lungimea de undă $\lambda_r = 0{,}75$ microni, pînă la razele violete, lungimea de undă $\lambda_v = 0{,}38$ microni.

92. **Spectre de emisiune.** Spectrele produse de izvoare luminoase se numesc *spectre de emisiune*. De exemplu, spectrul solar, spectrul dat de lumina becului electric, spectrul dat de un lichid sau gaz incandescent etc. sînt spectre de emisiune. Spectrele de emisiune pot fi *complete* sau *incom-*

plete, după temperatura corpului incandescent. Un spectru complet apare în jurul temperaturii 1 200° C. La 450°C încep să apară radiațiile roșii. Experiențele au arătat că spectrele de emisiune sînt de 2 feluri:

a) Spectre continue — sînt spectrele date de corpurile solide sau lichide în stare de incandescență. *Spectrele continue se caracterizează prin succesiunea continuă a radiațiilor monocromatice*. Figura 1, din tabloul spectrelor de la finele manualului, ne arată cum se prezintă un astfel de spectru.

b) Spectre de linii (discontinui) — sînt spectrele date de gazele și vaporii în stare de incandescență, la presiuni ce nu depășesc prea mult presiunea normală. Aceste spectre sînt date de substanțele respective aflate în stare atomică. *Spectrele de linii se caracterizează prin linii strălucitoare, de diferite culori, pe un fond negru, distanțate între ele* (fig. 2,3,4, din tabloul spectrelor). Rezultă că aceste corpuri, care dau spectre de linii, emit o lumină formată dintr-un număr restrîns de radiații monocromatice. După numărul și culoarea liniilor luminoase ne putem da seama de natura gazului sau vaporilor respectivi. Pentru a obține vapori în stare de incandescență, ai unui anumit metal introducem în flacăra unui bec de gaz o sîrmă de care am prins o bucată de azbest muiată într-o soluție a unei sări a acelui metal. La temperatura flăcării, sarea se descompune, iar metalul se evaporă. Vaporii săi, devenind incandescenți, colorează flacăra în mod diferit, după natura metalului. Vaporii incandescenți dau un spectru de linii pe fondul continuu, slab al flăcării. În cazul sodiului, flacăra este galbenă intens, iar spectrul său este format din două linii galbene strălucitoare, apropiate. Spectrul sărurilor de potasiu se caracterizează prin trei linii roșii, una violetă extremă și cîteva intermediare galbene care nu sînt bine observabile; flacăra este coloratã în violet. În afară de spectrele de linii se mai pot aminti spectrele de bandă, care sînt date de gazele aflate în stare moleculară. Ele sînt benzi late luminoase pe un fond întunecat.

Gazele pot fi aduse la incandescență în tuburile de descărcare, sub presiune redusă. În felul acesta se studiază toate gazele. Hidrogenul, de pildă, dă un spectru format din patru linii: roșu, albastru, indigo și violet.

93. **Spectre de absorbție.** *Experiență.* Să obținem, pe un ecran de observație, spectrul continuu al unei surse de lumină. După aceea așezăm între sursă și prisma de dispersie un bec de gaz, în flacăra căruia am introdus o sîrmă cu o bucată de azbest muiată într-o soluție de clorură de sodiu. Privind spectrul continuu, observăm că în regiunea radiațiilor galbene este brăzdat de două linii negre (cînd temperatura sursei este mai mare decît temperatura vaporilor de sodiu care iau naștere). Să înlăturăm sursa care dă spectrul continuu, lăsînd numai becul de gaz, în flacăra căruia se află clorura de sodiu. Constatăm că pe ecran, în locul liniilor negre, au apărut două linii galbene, adică spectrul vaporilor incandescenți de sodiu. Din această experiență deducem că vaporii de sodiu incandescenți au absorbit din spectrul continuu radiațiile pe care le emit. Punem în locul clorurii de sodiu o sare de litiu. Observăm că în spectrul continuu, în regiunea de roșu, a apărut o linie neagră, care corespunde exact liniei roșii emisă de vaporii de litiu.

Un spectru continuu, brăzdat de linii sau benzi întunecate, se numește **spectru de absorbție.** Spectrul de absorbție se obține trecînd lumina dată de o sursă luminoasă prin vapori incandescenți, a căror temperatură este mai mică decît temperatura sursei. Spectrul solar este un spectru continuu brăzdat de linii negre, datorită trecerii luminii Soarelui prin atmosfera solară, care este formată din gaze și vapori incandescenți, aflîndu-se la o temperatură mai joasă decît temperatura acelei părți a Soarelui care produce spectrul continuu. Aceste linii negre au fost descoperite de către Joseph Fraunhofer (1787—1826) și sînt cunoscute sub numele de *„liniile lui Fraunhofer"*. Aceste linii sînt în număr de circa 20 000.

Legea lui Kirchhoff[1] Studiind spectrele de emisie și de absorbție, Kirchhoff, în 1859, a descoperit următoarea lege generală, care îi poartă numele: *fiecare corp absoarbe acele radaiții pe care el însuși le poate emite în condițiile respective de temperatură și presiune.* De acest adevăr ne-am putut convinge și noi în experiențele făcute cu sodiul și litiul. Legea se

[1] *Gustav Kirchhoff*, a elaborat metoda analizei spectrale, a descoperit legea emisiei și absorbției și a elaborat teoria curenților derivați. De asemenea a dedus viteza sunetului în tuburi.

Scanned with OKEN Scanner

poate interpreta pe baza fenomenului de rezonanță, care duce la o absorbție intensă cînd există o coincidență între perioadele undei și rezonatorului.

94. **Transparența și culoarea corpurilor.** Lumina care cade pe diferite corpuri este parțial reflectată, iar restul pătrunde în interiorul corpului, unde poate fi absorbită total sau parțial. Se poate întîmpla ca suprafața reflectantă să fie perfect lucioasă (oglindă) sau să prezinte asperități. În primul caz va avea loc o reflexie regulată, iar în al doilea caz va avea loc fenomenul de difuzie. În majoritatea cazurilor, suprafețele corpurilor prezintă însă asperități și deci lumina va fi reflectată neregulat (difuzie). După cum s-a mai spus, aceasta ne permite să apreciem conturul corpului respectiv, de la distanță. Dacă suprafața corpului pe care cade lumina albă reflectă toate radiațiile monocromatice care o compun, corpul va apărea alb; dacă reflectă o anumită radiație colorată și restul de radiații îl absoarbe, corpul apare colorat în culoarea radiației reflectate. Dacă un corp lasă să treacă prin el, în mod uniform, toate radiațiile monocromatice care compun lumina albă, corpul se numește transparent. Dacă corpul este transparent numai pentru o anumită radiație monocromatică, apare colorat în culoarea radiației respective. Dacă corpul absoarbe complet lumina albă, el se numește *corp absolut negru*. Funinginea este cea mai apropiată de corpul absolut negru.

Corpul care absoarbe parțial razele care trec prin el va apărea colorat într-o culoare corespunzătoare amestecului de raze monocromatice pe care le lasă să treacă prin el. În natură nu există corpuri absolut transparente și absolut negre.

95. **Analiza spectrală. Spectroscopul.** Cu ajutorul spectrelor de emisiune sau de absorbție ale diferitelor substanțe, se poate determina compoziția lor chimică. *Determinarea compoziției chimice a unei substanțe, după spectrul său, se numește analiză spectrală.* Această metodă a fost descoperită la mijlocul secolului al XIX-lea de către Gustav Kirchhoff. Ea se realizează cu ajutorul unui aparat optic numit *spectroscop*. Părțile principale ale spectroscopului sînt: un tub *L*, numit *colimator* (fig. 115), care are la capăt o fantă îngustă dreptunghiulară, prin care pătrunde lumina ce vrem să o studiem. La celălalt capăt al colimatorului se află o lentilă

Scanned with OKEN Scanner

convergentă, în al cărei focar se găsește fanta. Această lentilă are rolul de a transforma razele divergente, care vin de la sursa așezată în fața fantei, în raze paralele, care cad sub același unghi de incidență pe prisma ABC, care le dispersează. Fasciculele emergente cad pe lentila obiectiv a lunetei L' produc în planul ei focal un spectru real, pe care îl privim cu ajutorul ocularului, care are rolul unei lupe. Dacă în loc de ocular se folosește o placă fotografică, așezată în planul focal al obiectivului, se obține fotografia spectrului, numită *fotogramă*, iar aparatul se numește, în acest caz, *spectograf*. Pentru măsurarea distanțelor dintre diferitele linii luminoase sau obscure, spectroscopul este prevăzut cu un micrometru M, format dintr-o scală gradată în diviziuni echidistante, fine și paralele cu fanta colimatorului. Scala gradată este așezată în focarul lentilei l, astfel că razele de lumină ce pornesc de la o sursă care luminează scala ies paralele din lentilă, se reflectă total pe fața AC a prismei și se suprapun peste imaginea spectrului. Pentru a determina compoziția chimică a unei substanțe, trebuie ca ea să dea un spectru de emisiune sau de absorbție. Spectrul de linii obținut se compară cu tabelele de spectre ale tuturor elementelor cunoscute. Dacă, spre exemplu, în spectrul obținut se găsesc linii ale sodiului, înseamnă că substanța respectivă conține sodiu. Se separă apoi liniile sodiului și se compară celelalte linii ș.a.m.d., pînă se identifică toate liniile. În felul acesta, se determină compoziția chimică a oricărei substanțe. Dacă în spectrul obținut se găsesc linii care nu coincid cu liniile spectrelor elementelor cunoscute, înseamnă că substanța studiată conține un element necunoscut încă. Așa s-au descoperit, chiar din primii ani ai aplicării analizei spectrale, elementele următoare: rubidiul și cesiul, în 1861; taliul în 1862; heliul, în spectrul solar, în 1868, iar în 1895 pe Pămînt.

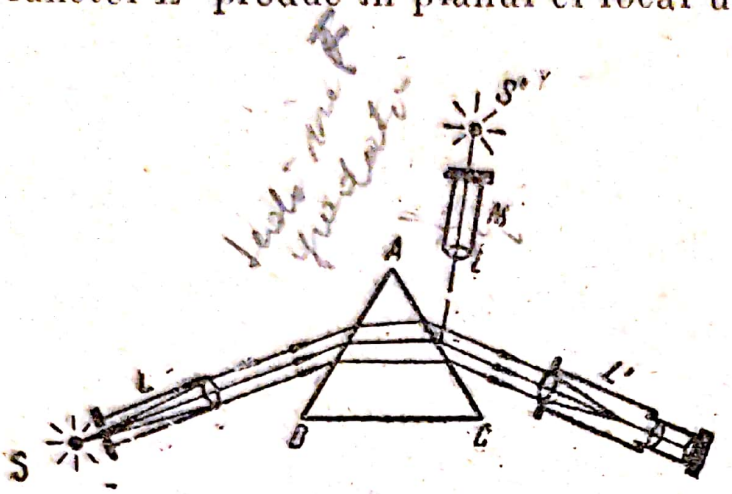


Fig. 115. Schema spectroscopului.

Importanța analizei spectrale. Față de analiza chimică, analiza spectrală se impune prin sensibilitatea ei excepțională, necesitînd o cantitate de numai 10^{-6} g din substanța de studiat și prin faptul că, cu ajutorul ei, se poate determina compoziția chimică a corpurilor luminoase situate la distanțe foarte mari (Soarele, stelele). Totodată se poate determina și proporția în care se găsește un anumit element într-o substanță, prin intensitatea luminoasă a liniilor sale spectrale (analiza spectrală cantitativă).

Analiza spectrală se folosește în metalurgie, medicină legală, astronomie etc. În metalurgie se folosește pentru a studia compoziția diferitelor aliaje în modul arătat mai sus. În astronomie, cu ajutorul analizei spectrale s-a determinat compoziția chimică a păturilor exterioare ale Soarelui, studiindu-se spectrul său, care este un spectru continuu, brăzdat de liniile obscure ale lui Fraunhofer (spectru de asorbție). Tot așa s-a determinat și compoziția stelelor, găsindu-se și în aceste corpuri cerești elementele chimice existente pe Pămînt. Acest fapt demonstrează că materia din care este alcătuit universul poate fi cunoscută și este aceeași pretutindeni. Tot cu ajutorul analizei spectrale s-au determinat și vitezele corpurilor cerești în direcția razei vizuale. De asemenea temperatura lor se determină tot cu ajutorul analizei spectrale. Nu se poate folosi analiza spectrală de emisiune pentru studiul corpurilor care nu au lumină proprie (cazul planetelor). Astăzi studiul planetelor se face cu radiosemnale — ecou, cît și cu ajutorul radiounde-lor pe care le emit planetele și în fine cu ajutorul sateliților artificiali și al rachetelor cosmice.

LUCRARE DE LABORATOR Nr. 6

Observarea diferitelor feluri de spectre.

Materiale necesare: spectroscopul, surse de lumină, bec electric, lumînare, flacără de gaz, tuburi cu gaze rarefiate.

Modul de lucru: folosind succesiv sursele indicate mai sus, vom observa la spectroscop spectrele de emisiune continui și de linii. Pentru a obține spectrul vaporilor de: Na, K sau Li, așezăm în flacăra lămpii de gaz sau a unei lămpi de spirt o sîrmă prevăzută cu o bucată de azbest muiată într-o soluție a unei sări a acestor elemente. Sursa al cărei spectru vrem să-l observăm

Scanned with OKEN Scanner

o aşezăm în faţa fantei colimatorului (aşa cum se vede în fig. 115). Rotim apoi luneta în jurul axului vertical ce trece prin suportul spectroscopului, pînă ce observăm spectrul. Acţionînd asupra ocularului lunetei, punem la punct imaginea spectrului. Pentru a evalua distanţele dintre liniile colorate (în cazul spectrelor de linii), folosim scala micrometrică, pe care o iluminăm aşezînd o sursă de lumină în faţa micrometrului în aşa fel ca imaginea scalei să se vadă clar. Pentru obţinerea spectrelor de linii ale gazelor din tuburile cu gaze rarefiate, folosim o bobină Ruhmkorff, pentru a aduce aceste gaze la incandescenţă. Spectrele de absorbţie se obţin mai greu. În acest caz este necesar ca sursa care dă spectrul continuu să aibă o temperatură mai mare decît temperatura gazului incandescent. În urma experienţelor efectuate se poate face o tabelă de observaţii ca mai jos:

Sursa folosită	Felul spectrului	Razele sau liniile spectrale observate	Distanţele dintre linii în cazul spectrelor de linii

96. Spectrul invizibil

a) *Radiaţiile infraroşii.* Ochiul omenesc nu poate percepe decît radiaţiile luminoase cuprinse între roşu şi violet, adică spectrul vizibil. Cu toate acestea, datorită efectelor chimice şi calorice ale luminii s-au putut cerceta şi regiunile de dincolo de roşu şi de violet, în care ochiul „nu vede" nimic. Dacă în spectrul vizibil, dat de lumina solară, plimbăm un termometru sensibil (cu rezervorul acoperit cu negru de fum) constatăm o creştere progresivă a temperaturii, mergînd de la violet spre roşu. Mergînd dincolo de roşu, în regiunea unde ochiul nu percepe nimic se constată că temperatura creşte mereu pînă la un maximum, apoi începe să descrească. Această regiune este mult mai întinsă decît spectrul vizibil. Experienţa ne arată că în această regiune există radiaţii invizibile pentru ochi, dar care se fac cunoscute prin efectul lor termic. Aceste radiaţii au fost *numite radiaţii infraroşii.*

Dacă cercetăm această regiune mai departe, cu un termometru termoelectric (bolometru), constatăm că ea este extrem de întinsă, continuîndu-se cu undele hertziene. Radiaţiile infraroşii sînt emise din abundenţă de toate aparatele de încălzit. Ele sînt complet absorbite de sticlă şi

Sarea gemă nu absoarbe (se fac lentile)

cuarţ şi parţial absorbite de apă, mai ales de apa mărilor şi a oceanelor. Trec cu uşurinţă prin sarea gemă, din care cauză lentilele şi prismele pentru studiul lor se fac din sare gemă. Existenţa radiaţiilor infraroşii a fost stabilită de către W. Hershel, în anul 1800. Acesta a constatat că radiaţiile infraroşii se reflectă şi se refractă la fel ca lumina vizibilă.

b) *Radiaţiile ultraviolete.* Să proiectăm spectrul obţinut prin dispersia luminii albe, printr-o prismă de cuarţ, pe o placă fotografică şi s-o developăm. Constatăm că în domeniul radiaţiilor infraroşii placa nu este impresionantă, dar cu cît ne apropiem de radiaţiile violete, stratul sensibil este impresionat din ce în ce mai puternic. Ajungînd la violetul extrem, vizibil, constatăm că stratul sensibil este influenţat puternic şi dincolo de violet. Rezultă că şi în această regiune sînt radiaţii invizibile pentru ochi, dar care se fac cunoscute prin efecte chimice. Aceste radiaţii, descoperite în 1801 de către Ritter şi Wollaston, au fost numite *radiaţii ultraviolete*, după poziţia lor faţă de spectrul vizibil, dincolo de violet.

P r o p r i e t ă ţ i . Pe lîngă efectul chimic, de impresionare a plăcii fotografice, radiaţiile ultraviolete produc fluorescenţa unor substanţe, spre exemplu, fac fluorescent un ecran cu platinocianură de bariu. Radiaţiile ultraviolete ionizează gazele, înlesnesc multe reacţii chimice în natură, distrug celula vie, omoară microbii, sporii, ciupercile, mucegaiurile, sterilizează complet apa cu microorganisme. Radiaţiile ultraviolete au şi acţiune terapeutică, din care cauză ele sînt folosite în medicină. Sînt puternic absorbite de corpuri. Radiaţiile ultraviolete care vin de la Soare sînt aproape complet absorbite de straturile superioare ale atmosferei. De aceea, pentru a produce radiaţii ultraviolete folosim surse artificiale, intensitatea acestor radiaţii fiind cu atît mai mare, cu cît este mai mare temperatura sursei. Pentru studiul lor se folosesc prisme de cuarţ şi fluorină, care sînt transparente pentru radiaţiile ultraviolete.

Dincolo de ultraviolet începe regiunea radiaţiilor X.

97. **Aplicaţii tehnico-industriale ale radiaţiilor invizibile.** Atît radiaţiile infraroşii cît şi radiaţiile ultraviolete, datorită proprietăţilor lor, sînt folosite mult în tehnică şi medicină. Radiaţiile infraroşii se folosesc în medicină în trata-

Scanned with OKEN Scanner

mentul unor artrite cronice şi în anumite inflamaţii. Prin aplicarea unor metode speciale de sensibilitate a plăcilor fotografice, radiaţiile infraroşii se întrebuinţează astăzi şi în fotografie, fotografia în infraroşu. Radiaţiile infaroşii sînt utilizate, de asemenea, de către aparatele cu ajutorul cărora privim în întuneric şi de către detectorii termici. Aceste din urmă aparate înlocuiesc radarul, funcţionînd pe acelaşi principiu, dar sînt superioare radarului atît din cauza avantajului că nu sînt descoperite cît şi datorită faptului că nu pot fi induse în eroare, cum se întîmplă cu aparatele radar. De asemenea, radiaţiile infraroşii sînt folosite în spectroscopia în infraroşu. În fabricile moderne de pîine, radiaţiile infraroşii se utilizează pentru coacerea pîinii, dînd un randament cu 50 % peste cel dat de cuptoarele obişnuite. În industrie pot fi folosite pentru uscarea rapidă a pieselor vopsite. Folosite în tehnica construcţiilor permit efectuarea lucrărilor, în bune condiţiuni, în timp de iarnă. În agricultură se folosesc pentru uscarea şi dezinsectarea semînţelor diferitelor culturi, reducînd timpul de uscare cu 30—40% şi păstrînd intacte facultăţile germinative ale semînţelor. În zootehnie sînt utilizate pentru încălzire.

Radiaţiile ultraviolete sînt folosite în medicină pentru prevenirea şi combaterea unor boli, ca de exemplu, rahitismul, pentru înlăturarea unor stări de slăbire şi pentru vindecarea rapidă a une răni supurante. De asemenea s-a observat o îmbunătăţire a stării de nutriţie şi a dezvoltării fizice la copiii iradiaţi cu ultraviolete. Radiaţiile ultraviolete se întrebuinţează şi pentru sterilizarea apei potabile. În acest scop, apa de sterilizat este adusă printr-o conductă de alamă de-a lungul căreia se găseşte sursa de radiaţii ultraviolete. Aceste radiaţii distrug bacteriile şi microbii.

Medicina legală foloseşte de asemenea radiaţiile ultraviolete.

În industrie, radiaţiile ultraviolete se pot întrebuinţa la sterilizarea conservelor (fotosterilizare). S-a constatat că alimentele iradiate nu prezintă nici un fel de pericol pentru organism, iar unele alimente irădiate păstrează în mod integral însuşirile produsului proaspăt.

În zootehnie, radiaţiile ultraviolete sînt folosite pentru tratamentul animalelor, în acelaşi scop ca şi în medicina umană. Se mai folosesc şi în distrugerea insectelor.

Scanned with OKEN Scanner

Datorită marii sensibilități a plăcii fotografice la radiațiile ultraviolete, aceste radiații sînt utilizate și în tehnica fotografiei.

Radiațiile X

La studiul razelor catodice s-a arătat că, dacă aceste raze (care nu sînt altceva decît un flux de electroni) întîlnesc în drumul lor un obstacol care nu le permite să treacă mai departe (de exemplu, peretele de sticlă al tubului), dau naștere la un nou fel de radiații invizibile, de altă natură decît razele catodice. Aceste radiații noi au fost descoperite în 1895 de W.K. Röntgen, care le-a numit *radiații X*. Aceste radiații sînt cunoscute și sub numele de radiații Roentgen, după numele descoperitorului lor.

98. **Obținerea radiațiilor X.** Roentgen a obținut radiațiile X folosind un tub Crookes (fig. 116,*a*). Acest tub este format dintr-un balon de sticlă, vidat în interior, în care se găsesc doi electrozi: catodul K și anodul A_1. Catodul K este din aluminiu. În fața lui se află anticatodul A, din cupru masiv, avînd fața dinspre catod sub forma unei oglinzi plane din platină sau wolfram, înclinată la 45° față de direcția catodului. Tubul se leagă cu cei doi electrozi la secundarul unei bobine Ruhmkorff, puternică. Fluxul de electroni care vine cu mare viteză de la catod, lovește anticatodul și dă naștere radiațiilor X, care străbat sticla ieșind afară. Pentru a neutraliza electronii care cad pe anticatod, acesta se leagă printr-un conductor, cu anodul. Aceste tuburi se numesc tuburi ionice și sînt rar folosite astăzi. În locul lor se folosesc tuburile electronice (Coolidge) în care catodul este un filament incandescent de wolfram, care dă un flux mai mare de electroni (fig. 116,*b*). Deoarece, prin bombardare cu

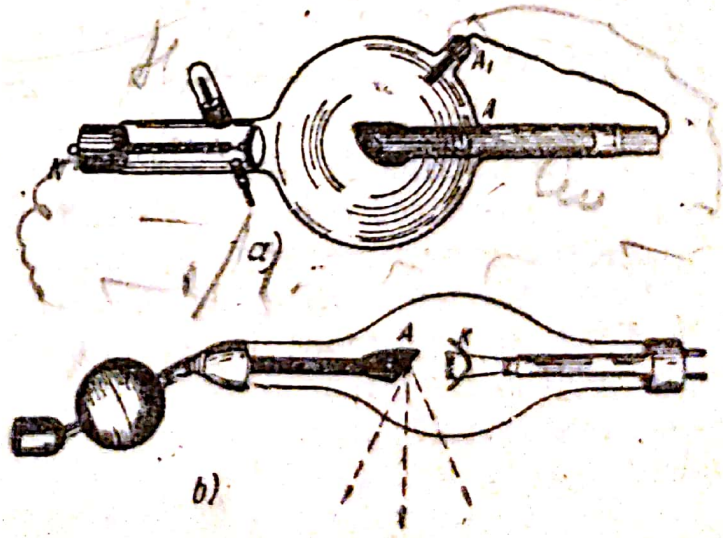


Fig. 116. Tuburi de radiații (raze) X:
a — tub ionic; *b* — tub electronic.

electroni, anticatodul se încălzește foarte mult, el este făcut din cupru, care are conductibilitatea calorică mare și totodată este răcit cu un curent de apă. Întrucît, în tubul Roentgen, descărcarea trebuie să se facă totdeauna de la catod la anod, iar bobina dă curenți alternativi, în circuitul tubului se introduce un redresor, care este un tub cu doi electrozi, situați la o astfel de distanță încît descărcarea între ei să fie posibilă numai cînd în primarul bobinei ia naștere extracurentul de întrerupere.

99. **Proprietățile și natura radiațiilor X. Aplicații.** Din studiile făcute de către Röntgen și de către alți fizicieni s-a constatat că radiațile X au următoarele proprietăți principale:

1) Impresionează placa fotografică, chiar cînd aceasta se găsește închisă în casetă de lemn.

2) Au o putere de pătrundere foarte mare. Trec prin aluminiu și lemn tot așa cum trece lumina prin sticlă. Puterea de pătrundere depinde de densitatea corpului. Cu cît densitatea este mai mare, cu atît pătrund mai greu. Cel mai puțin penetrabil este plumbul.

3) Nu sînt deviate de cîmpul electric și magnetic, ceea ce dovedește că au aceeași natură ca și lumina.

4) Ionizează gazele prin care trec, adică le fac bune conducătoare de electricitate. Dacă trimitem un fascicul de radiații X asupra unui electroscop încărcat cu electricitate, electroscopul se descarcă, după cum a constatat fizicianul romîn Dragomir Hurmuzescu.

5) Radiațiile X produc fluorescența multor substanțe pe care cad. De exemplu, dacă trimitem un fascicul cu radiații X asupra unui ecran cu platinocianură de bariu, ecranul se luminează.

6) Radiațiile X sînt reflectate de oglinzi, dar suferă o reflexie difuză, din cauză că, față de lungimea de undă a acestor raze, suprafețele oglinzilor prezintă asperități. Suferă fenomenul de reflexie totală, după cum a arătat, în 1923, A.H. Compton. În anul 1924, Siegbahn și colaboratorii lui au realizat și refracția radiațiilor X printr-o prismă de sticlă, precum și dispersia lor. S-a găsit că indicele de refracție pentru radiațiile X diferă foarte puțin de 1, ceea ce face foarte dificilă observarea refracției acestor raze.

Scanned with OKEN Scanner

7) Radiațiile X se difractă, dar nu prin rețele obișnuite. Difracția lor a fost realizată în anul 1912 de fizicianul Laue, pe rețeaua cristalină a unui cristal. Aceasta a fost dovada cea mai convingătoare a naturii ondulatorii a radiațiilor X.

8) Radiațiile X au o puternică acțiune fiziologică, distrugînd celulele organismului, celulele bolnave fiind atacate mai puternic decît cele sănătoase.

Intensitatea radiației. Ca unitate de măsură pentru intensitatea radiațiilor X s-a stabilit 1 roentgen (1 R), care se definește pe baza proprietăților ionizante ale radiațiilor X, și anume în funcție de sarcina electrică, de un semn a perechilor de ioni formați într-o anumită masă de aer în condiții determinate (doza de ionizare).

Natura radiațiilor X. Din cele spuse mai sus se observă că radiațiile X sînt de aceeași natură ca și lumina. Lungimea lor de undă fiind însă de ordinul angstromilor ($1Å = 10^{-8}$ cm), multă vreme, datorită dificultăților experimentale, nu s-a putut stabili natura lor. Îndeosebi nu se puteau observa reflexia, refracția și difracția, spre a se putea stabili dacă radiațiile X sînt de natură ondulatorie, ca și lumina, sau nu. O dată cu descoperirea difracției radiațiilor X, s-a stabilit că *radiațiile X sînt de aceeași natură cu lumina*, stabilindu-se și locul lor în spectrul radiațiilor electromagnetice, dincolo de radiațiile ultraviolete.

Aplicații. Datorită proprietăților lor, radiațiile X își găsesc aplicații în medicină, industrie și cercetări științifice.

În medicină. Pe baza acțiunii lor fiziologice, radiațiile X sînt folosite în scopuri curative. De exemplu, se pot folosi pentru tratarea tumorilor maligne, cum este cancerul, radiațiile X atacînd celulele bolnave și distrugîndu-le. Ele pot avea însă și efect dăunător asupra organismului sănătos, supus prea mult iradiației cu raze X. Pe proprietățile lor de a impresiona placa fotografică, de a produce fluorescența unor substanțe și de a pătrunde în corpuri opace pentru lumină se bazează radioscopia și radiografia.

Scanned with OKEN Scanner

În tehnică, radiațiile X se folosesc pentru descoperirea defectelor pieselor turnate, fără a produce distrugerea lor (defectoscopie cu radiații X).

În cercetările științifice, radiațiile X permit să se studieze structura cristalelor. Obținînd, pe o placă fotografică, imaginea de difracție a radiațiilor X dată de o anumită rețea cristalină, se poate determina poziția centrilor difuzanți (nodurile rețelei). De asemenea se obțin date despre natura centrilor difuzanți.

100. **Privire generală asupra undelor electromagnetice.** Am studiat pînă acum: undele hertziene, lumina, radiațiile infraroșii, radiațiile ultraviolete, radiațiile X . Toate aceste radiații sînt de natură electromagnetică, deși diferă prin unele, din proprietățile lor. Aceasta demonstrează o dată mai mult că diversitatea nu exclude identitatea, unitatea fenomenelor în ceea ce privește unele laturi, unele însușiri. Proprietățile acestor radiații, prin care se deosebesc sau se aseamănă unele cu altele, sînt în strînsă legătură cu lungimea de undă a radiației respective. Dacă modificăm lungimea de undă a unei radiații, se schimbă și însușirile sale. Evident că în privința domeniului de întindere a undelor electromagnetice spre frecvențe înalte (lungimi de undă scurte), nu ne putem opri la radiațiile X. Dincolo de aceste radiații găsim radiațiile γ (gama), cu lungimea de undă mai scurtă decît a radiațiilor X. Toate undele electromagnetice studiate sau pe care le vom mai studia le putem reprezenta printr-o diagramă numită spectrul undelor (fig. 117), luînd în abscisă frecvența, în scara logaritmică.

Trebuie remarcat că nu putem stabili granițe absolut precise între toate tipurile de unde electromagnetice. Aceste

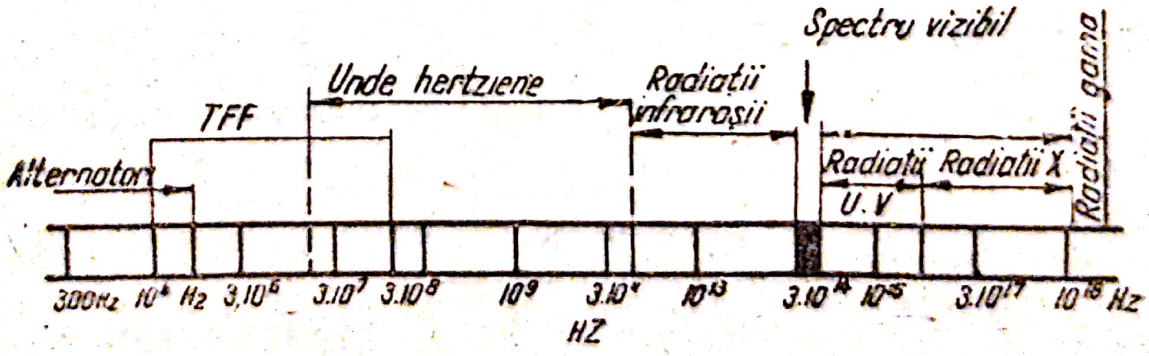


Fig. 117. Spectrul undelor electromagnetice.

Scanned with OKEN Scanner

granițe sînt fixate în mod aproximativ în spectrul undelor electromagnetice. Studiind cu atenție spectrul acestor unde, se observă că lumina vizibilă ocupă cea mai mică întindere în spectrul general al undelor.

101. Transformarea energiei radiațiilor în alte forme de energie. Undele electromagnetice, fie că provin de la surse naturale sau artificiale, transportă cu ele o anumită cantitate de energie care este în strînsă legătură cu frecvența undelor respective. S-a constatat că undele de frecvență mare transportă cu ele o cantitate mare de energie, față de undele cu frecvență mică. Întîlnind în drumul lor diferite corpuri, undele electromagnetice transmit acestor corpuri o parte din energia lor radiantă, care va produce transformări calitative ale corpurilor întîlnite. Cu alte cuvinte, energia radiantă este transformată în alte forme de energie: calorică, chimică, luminoasă etc. Să urmărim, de pildă, transformările suferite de energia radiațiilor primite de la Soare, care este cea mai importantă sursă naturală de radiații electromagnetice pentru Pămînt. Soarele trimite asupra Pămîntului atît radiații vizibile cît și radiații invizibile: infraroșii, ultraviolete și raze X, pentru care însă atmosfera este ca un fel de filtru absorbind pe cele mai energice, care ar dăuna vieții.

O parte din energia radiantă, ce cade pe diferite corpuri, este absorbită, altă parte este reflectată, iar alta trece mai departe prin corpurile respective. Asupra corpurilor acționează energia radiantă absorbită și reflectată. Să enumerăm cîteva din transformările pe care le suferă energia radiantă primită de corpurile pe care cade.

1) *Transformarea în energie calorică.* Ca rezultat general al absorbției energiei radiante de către un corp este transformarea ei în căldură, în special a energiei radiațiilor infraroșii, care transportă cea mai mare cantitate globală de energie, avînd un domeniu mult mai întins decît al celorlalte radiații. Cel mai simplu exemplu de transformare a energiei radiante în energie calorică îl constituie încălzirea Pămîntului de către Soare.

2) *Transformarea în energie chimică (acțiunile fotochimice ale luminii).* Radiațiile absorbite de corpuri pot produce și alte efecte decît încălzirea corpurilor. Ele pot produce

Scanned with OKEN Scanner

transformări chimice de toate felurile, pe care, în general, le numim r e a c ţ i i f o t o c h i m i c e. Printre reacţiile fotochimice importante se pot cita:

a) Polimerizarea substanţei, adică formarea de molecule care să reprezinte un complex de molecule al unui produs iniţial; spre exemplu, formarea fosforului roşu din fosfor alb.

b) Sub acţiunea luminii au loc, de asemenea, formări de molecule compuse, de exemplu, formarea acidului clorhidric (HCl) din clor (Cl) şi hidrogen (H), reacţie atît de violentă, încît este însoţită de explozie. Tot sub acţiunea radiaţiilor luminoase se produc şi descompuneri ale moleculelor în părţile lor componente, de exemplu, descompunerea amoniacului (NH_3) în azot (N) şi hidrogen (H); descompunerea bromurii de argint (AgBr) în argint (Ag) şi brom (Br), reacţie pe care se bazează fotografia. Foarte multe dintre aceste reacţii fotochimice au un rol important atît în natură cît şi în tehnică. Spre exemplu, radiaţiile solare, mai ales cele ultraviolete, pot provoca formarea anumitor combinaţii cu oxigenul, care duc uneori la formarea unor produşi antiseptici, ca, spre exemplu, ozonul. Iradiind corpul omenesc cu radiaţii ultraviolete, substanţa numită ergosterol se transformă în vitamina D antirahitică. Dintre toate reacţiile chimice produse sau înlesnite de radiaţiile solare, de cea mai mare însemnătate este însă *fotosinteza*, ce are loc în plante în prezenţa clorofilei. În special, radiaţiile roşii, portocalii şi albastre au o deosebită acţiune în procesul fotosintezei, care asigură circulaţia carbonului în natură, fără de care existenţa vieţii de lungă durată pe pămînt n-ar fi posibilă. Totodată fotosinteza stă la baza sintezei a numeroase substanţe organice de mare importanţă biologică: zaharurile. Trebuie menţionat că multe reacţii fotochimice sînt folosite astăzi în industria chimică, dobîndind o însemnătate industrială directă.

3) *Fotoluminescenţa*. Energia radiantă poate face luminoase unele corpuri pe care cade, adică produce l u m i n e s c e n ţ a lor, fără a le ridica temperatura. Astfel, iluminînd petrolul lampant, el răspîndeşte o lumină albăstruie. Dacă dizolvăm clorofila în spirt şi o iluminăm, ea răspîndeşte o lumină roşie. Unele dintre aceste corpuri răspîndesc lumină numai cît timp sînt iluminate, altele dau

Scanned with OKEN Scanner

lumină și după ce a încetat iluminarea lor. În general, lumina dată de aceste corpuri are o lungime de undă mai mare decît lumina absorbită. Proprietatea unor corpuri de a emite lumină cînd sînt iradiate, se numește *fluorescență*. Această proprietate este folosită în tuburile de iluminat fluorescente, unde energia radiațiilor ultraviolete este absorbită de o substanță numită luminofor și redată sub forma de lumină vizibilă. Corpurile care emit lumină și după ce iradierea lor a încetat se numesc corpuri *fosforescente*.

În afară de aceste transformări mai sînt și altele, printre care: transformarea energiei radiante în energie electrică (efectul fotoelectric), pe care o vom studia mai tîrziu etc.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se înțelege prin interferența luminii?
2. Ce sînt inelele lui Newton?
3. Cum se explică interferența luminii?
4. Ce aplicații practice are interferența luminii?
5. Ce se înțelege prin difracția luminii?
6. Ce sînt rețelele optice și la ce folosesc?
7. Cum se explică difracția luminii?
8. Care este importanța științifică a interferenței și difracției?
9. Care sînt părțile pozitive și negative ale teoriei ondulatorii?
10. Ce se numește spectru și cîte feluri de spectre cunoașteți?
11. Cum se enunță legea lui Kirchhoff și ce importanță are?
12. Ce este analiza spectrală și care este importanța ei practică și științifică?
13. Ce proprietăți și aplicații au radiațiile infraroșii?
14. Ce proprietăți și aplicații au radiațiile ultraviolete?
15. Cum se obțin radiațiile X, care sînt proprietățile lor și ce aplicații au?
16. Ce transformări ale energiei radiante se cunosc?
17. Ce importanță practică prezintă transformarea energiei radiante în alte forme de energie?

PROBLEME

1. La „inelele lui Newton" s-a spus că privind aceste inele prin reflexie, centrul apare întunecat. Să se explice de ce.

2. Două raze de lumină galbenă cu lungimea de undă de 600 mμ se întîlnesc într-un punct. Diferența de drum dintre ele este de 0,3mm. În punctul lor de întîlnire se va forma un maxim sau un minim?

R. Un maxim.

3. Să se calculeze lungimea de undă (λ) a unei linii spectrale, a cărei imagine dată de o rețea de difracție în spectrul de ordinul al III-lea coincide cu imaginea liniei cu lungimea de undă de 4 861 Å, spectrul de ordinul al IV-lea.

$\lambda_1 = 4861$.

R. 6 481 Å.

4. O rețea de difracție are 600 linii/mm. Să se calculeze lungimea de undă a radiației care va fi observată în spectrul de ordinul al II-lea, sub un unghi de 45°.

R. 5875 Å.

OPTICA FOTONICĂ

102. **Efectul fotoelectric.** La studiul transformării energiei radiante în alte forme de energie, am văzut că energia luminoasă se poate transforma în diferite forme de energie. Printre aceste transformări se situează și transformarea energiei luminii în energie a curentului electric, fenomen cunoscut sub numele de *efect fotoelectric*. Astăzi se deosebesc trei feluri de efecte fotoelectrice:

1) Efect fotoelectric extern, care este o emisiune de fotoelectroni de la suprafața corpului aflat în vid sau în diferite gaze.

2) Fotoconductibilitatea, care constă în apariția unor fotoelectroni suplimentari, ca electroni liberi, în interiorul unui semiconductor iluminat. Acești electroni măresc conductibilitatea electrică a semiconductorului. Pe baza acestui fenomen funcționează *fotorezistențele*.

3) Efectul fotoelectric al stratului de baraj (sau efectul fotogalvanic), care constă în apariția unei tensiuni electromotoare la frontiera dintre un metal și un semiconductor, atunci cînd această frontieră este iluminată. Această tensiune determină apariția unui curent în circuit sau produce variația curentului electric din circuitul respectiv.

Dintre cele trei tipuri, care au multe aplicații practice, se va studia efectul fotoelectric extern. Acest fenomen a fost descoperit în anul 1887, cînd H. Hertz a constatat că iluminînd cu raze ultraviolete două sfere de zinc, supuse unei dife-

Scanned with OKEN Scanner

rențe de potențial, scînteia electrică se produce cu multă ușurință. Cercetările sistematice întreprinse au stabilit că aici este vorba de eliberarea din electrozi, sub acțiunea luminii, a unor sarcini electrice, care pătrunzînd în spațiul dintre electrozi, sînt accelerate și ionizează aerul înconjurător, producînd o descărcare electrică. Rezultatul fundamental al cercetărilor întreprinse de fizicieni a arătat că, sub acțiunea luminii, metalul iradiat eliberează sarcinile negative, pe cînd sarcinile pozitive rămîn în metal. Dacă iluminăm cu raze ultraviolete o placă de zinc electrizată negativ și pusă în legătură cu un electroscop, constatăm că electroscopul se descarcă foarte repede, pe cînd dacă placa este electrizată pozitiv, oricît am iradia-o, ea își păstrează încărcarca pozitivă. Făcînd experiența cu o placă neelectrizată, se constată că prin iluminare ea se încarcă pozitiv.

Legile curentului fotoelectric. Pentru studiul efectului fotoelectric să realizăm următorul montaj (fig. 118): electrozii A și K sînt legați la o sursă de tensiune continuă de 100—200 V avînd în serie galvanometrul G. Pentru ca aerul dintre cele două plăci să nu influențeze experiența, acești electrozi se introduc într-un spațiu vidat. Proiectînd un fascicul de raze ultraviolete asupra electrodului K, electronii care-l părăsesc, sub acțiunea cîmpului electric dintre electrozi se îndreaptă spre electrodul A (anod) închizînd circuitul. Se constată că pentru o anumită tensiune U, avem un fotocurent de saturație al cărui grafic este similar graficului curentului de saturație al diodei. Curentul de saturație arată că toți electronii eliberați de catod (electrodul negativ), sub acțiunea luminii, au fost captați de anod. Experiența arată că acest curent se supune următoarelor legi:

a) *Intensitatea fotocurentului de saturație este direct proporțională cu intensitatea luminii monocromatice absorbite.*

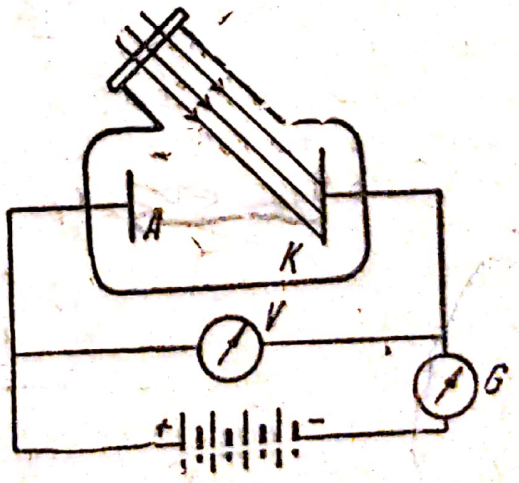


Fig. 118. Schema experienței pentru studiul efectului fotoelectric în vid.

Scanned with OKEN Scanner

b) *Energia cinetică a fotoelectronilor ce părăsesc suprafața metalului este funcție liniară de frecvența radiației monocromatice absorbite. Ea nu depinde de intensitatea luminii, nici de natura și temperatura metalului.* Această lege este valabilă pentru temperaturi joase.

c) *Fiecărui corp (substanță) care emite fotoelectroni, îi corespunde o frecvență minimă* ν, *a radiației monocromatice incidente, numită prag fotoelectric, de la care corpul începe să emită fotoelectroni.*

103. **Explicarea fotonică a legilor efectului fotoelectric.** Încercările de a explica legile efectului fotoelectric prin teoria ondulatorie a luminii au dus la eșec; teoria ondulatorie s-a dovedit incapabilă să le explice. Din punctul de vedere al acestei teorii, fie că este vorba de teoria lui Huygens—Fresnel, fie că este vorba de teoria electromagnetică a luminii, este foarte greu să se găsească explicația acestor legi. Spre exemplu, dacă considerăm că o undă electromagnetică incidentă smulge electroni din suprafața metalului, nu se poate explica de ce energia cinetică a fotoelectronilor, respectiv viteza lor, nu depinde de amplitudinea vibrațiilor, adică de intensitatea luminii, ci depinde de frecvența ei. De asemenea nu se poate explica nici de ce corpul nu emite fotoelectroni decît de la o anumită frecvență, bine definită, în sus, deși, din punctul de vedere al teoriei ondulatorii, emisiunea de fotoelectroni poate fi posibilă pentru orice frecvență. În 1905, Albert Einstein (1879—1955) a arătat că legile efectului fotoelectric pot fi explicate ușor cu ajutorul *teoriei fotonice a luminii*. Teoria fotonică este o nouă teorie a luminii, a cărei bază a fost pusă de Max Planck (1858—1947) și a fost completată de către Einstein. Conform acestei teorii, lumina este emisă, absorbită și se propagă în spațiu sub forma unor particule discrete de energie radiantă, care au fost numite la început cuante de lumină, apoi s-a adoptat denumirea de *fotoni*. Energia unui foton, notată cu ε (epsilon) este legată de frecvență prin relația:

$$\boxed{\varepsilon = h\nu} \qquad (32)$$

unde $h = 6{,}624 \cdot 10^{-27}$ erg s (constanta lui Planck).

Scanned with OKEN Scanner

Einstein a admis că pentru smulgerea unui fotoelectron dintr-un metal și pentru a-i imprima acestuia o energie cinetică $W_k = \frac{mv^2}{2}$ este necesară o anumită cantitate de energie luminoasă. Dacă lumina absorbită de un electron este un foton de energie $h\nu$, aplicînd legea conservării și transformării energiei, Einstein a găsit:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + W_{ies} \qquad (33)$$

unde: $\frac{mv^2}{2}$ este energia cu care fotoelectronul părăsește metalul, iar W_{ies} este energia cheltuită pentru a învinge forțele de legătură spre a putea ieși din metal (lucrul de ieșire).

Relația (33) poartă numele de *ecuația lui Einstein* și a fost verificată experimental de Millikan (1916).

Să vedem cum se explică, prin ipoteza lui Einstein, proporționalitatea intensității fotocurentului cu intensitatea luminii absorbite. Lumina fiind emisă sub formă de fotoni, intensitatea ei este determinată de numărul de fotoni ce cade pe suprafața iluminată în unitatea de timp. Dintre acești fotoni, așa cum arată și experiența, o parte transmit energia lor fotoelectronilor, altă parte produc încălzirea corpului pe care cad. Cu cît numărul de fotoni ce cad pe suprafața metalului va fi mai mare cu atît va crește și numărul de fotoelectroni, adică va crește intensitatea fotocurentului.

Legea a II-a a efectului fotoelectric o explicăm pornind de la relația ce exprimă energia fotonului: $\varepsilon = h\nu$. Observăm că energia unui foton este direct proporțională cu frecvența. Deoarece fotoelectronii primesc energia lor cinetică nu de la atomii metalului pe care îl părăsesc, ci de la fotoni, energia lor nu va depinde de natura metalului respectiv. Energia unui foton, în comparație cu energia termică a

electronilor din metal (la temperatura obișnuită) este mult mai mare. Ca urmare, viteza fotoelectronilor nu depinde de temperatura metalului, sau această dependență este așa de mică, încît se poate neglija. Energia fotoelectronilor depinde numai de energia fotonilor, care, după cum se vede din relația de mai sus este direct proporțională cu frecvența radiației. Rezultă că energia fotoelectronilor va fi cu atît mai mare cu cît va fi mai mare frecvența luminii absorbite.

Explicația legii a III-a. Dacă variem frecvența luminii incidente, se poate modifica energia cinetică a fotoelectronilor. Pentru o anumită frecvență ν_0, numită *frecvență limită*, sau *prag fotoelectric*, această energie devine 0. În acest caz, ecuația (33) devine: $h\nu_0 = W_{ies}$, adică toată energia fotonului s-a consumat pentru smulgerea electronilor. Putem să scriem acum ecuația generală a efectului fotoelectric:

$$\boxed{h\nu = \frac{mv^2}{2} + h\nu_0} \quad \text{sau} \quad \boxed{\frac{mv^2}{2} = h(\nu - \nu_0).} \qquad (34)$$

Pentru a obține o emisiune fotoelectronică observăm că este necesar să iluminăm metalul cu o lumină de frecvență $\nu \geqslant \nu_0$; în caz contrar nu poate avea loc emisiunea fotoelectronică.

104. **Celula fotoelectrică.** *Aparatul cu ajutorul căruia se transformă energia luminoasă în energie electrică se numește celulă fotoelectrică.* Celula fotoelectrică se bazează pe efectul fotoelectric. Există diferite tipuri de celule fotoelectrice, avînd o largă întrebuințare. De exemplu:

a) celule fotoelectrice cu vid;
b) celule fotoelectrice cu gaz;
c) celule fotoelectrice cu strat de oprire (de baraj) — celule fotovoltaice folosite foarte mult ca fotocelule generatoare, în scopul transformării energiei luminoase direct în energie electrică (bateriile solare).

Scanned with OKEN Scanner

În figura 119 se vede cum este construită o celulă fotoelectrică cu vid. Într-un balon de sticlă vidat în interior se depune un strat subțire K dintr-un metal capabil să emită cu ușurință electroni (Na, K, Cs, Rb etc.). În fața acestui strat fotosensibil se află electrodul A de forma unui inel sau a unui grătar. Dacă legăm cei doi electrozi la bornele unei baterii electrice, așa cum se vede în figură, iluminînd stratul sensibil, în circuit ia naștere un curent electric. Curentul fotoelectric dat de celulă este foarte slab, de aceea, în aplicațiile practice ale celulei fotoelectrice, acest curent este amplificat cu ajutorul amplificatorilor electronici. Datorită marii sale sensibilități, celula fotoelectrică are numeroase întrebuințări practice: în fotometrie, în relee fotoelectrice, în telefotografie și televiziune, la cinematograful sonor, în cibernetică etc.

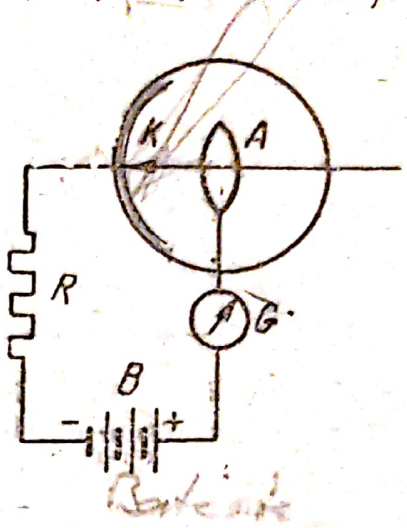


Fig. 119. Celula fotoelectrică.

În cele ce urmează vom studia cîteva dintre aceste aplicații.

105. **Releul fotoelectric.** În figura 120 este reprezentată schema unui releu cu celulă fotoelectrică. Deoarece, cum s-a spus mai sus, curentul dat de celula fotoelectrică cu vid este foarte slab, el este amplificat cu ajutorul triodei T, în al cărei circuit anodic este montat releul electromagnetic P cu contact normal închis (contactul este închis cînd prin bobina electromagnetului nu trece curent), de tip telefonic. Cît timp lumina cade pe fotocatodul celulei, circuitul de acționat I este deschis. Îndată ce lumina se întrerupe, curentul fotoelectric scade la 0 și negativarea dată de bateria B_n „blochează" tubul electronic. Curentul anodic al tubului scade atunci la valori foarte mici și armătura releului electromagnetic, fiind trasă de arc, părăsește miezul și închide

circuitul *I*. Ca urmare, lampa de semnalizare se aprinde și soneria sună. Folosind relee electromagnetice puternice pot fi închise circuitele electromotoarelor, pot fi aprinse și stinse luminile unui oraș în mod automat etc.

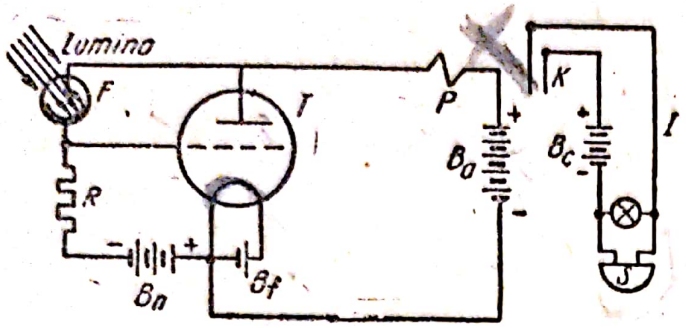


Fig. 120. Schema de principiu a releului fotoelectric cu alimentare în curent continuu:
B_n — bateria de negativare; B_f — bateria de alimentare a filamentului tubului electronic; B_a — bateria anodică; B_c — bateria circuitului acționat; F — celula fotoelectrică; T — triodă; P — bobina releului electromagnetic; K — contactele releului electromagnetic; I — circuitul de acționat (becul și soneria); R — rezistența de negativare.

Mai jos sînt enumerate cîteva dintre numeroasele aplicații ale releelor fotoelectrice: numărarea automată; controlul automat al greutății pieselor; controlul calității produselor; semnalizator automat de nivel; semnalizator automat al umidității; reglajul automat al temperaturii; în protecția muncii; dirijarea la distanță a diferitelor mecanisme; dirijarea automată a machetelor mobile etc.

106. **Televiziunea.** Prin televiziune înțelegem tehnica transmiterii la distanță și a recepționării imaginilor unor corpuri fixe și mobile, cu ajutorul undelor electromagnetice. (Transmiterea numai a imaginilor fixe, spre exemplu, a fotografiilor, se numește telefotografie.) Prin televiziune se pot transmite filme, piese de teatru, concerte etc. În acest scop este necesar ca mai întîi imaginea de transmis să fie descompusă într-un interval de timp foarte scurt, în foarte multe elemente care vor fi transmise unul cîte unul. Această operație se numește explorare. Această explorare trebuie făcută în mai puțin de 0,1 s, cît durează impresia luminoasă pe retină. Experiențele au arătat că, pentru a transmite de exemplu, un portret, este necesar să se comunice observatorului, în timp de 1/25 s, iluminarea a minimum 1 000 elemente suprapuse. Aceasta înseamnă că în timp de 1 s să fie transmise cel puțin 25 000 elemente ale imaginii.

Scanned with OKEN Scanner

În principiu, problema televiziunii se pune astfel:

1) Formarea imaginii mobilului sau a scenei ce se transmite şi transformarea acestei imagini în semnale electrice corespunzătoare, la emiţător.

2) Transmiterea acestor semnale la distanţă, cu ajutorul undelor electromagnetice.

3) Reconstituirea, în receptor, a imaginii obiectului sau scenei transmise.

Cu alte cuvinte, emiţătorul transformă imaginea optică a obiectului în imagine electrică, o transmite punct cu punct la distanţă cu ajutorul undelor electromagnetice, iar receptorul reconstituie imaginea optică din semnalele electrice recepţionate. Dispozitivul esenţial care transformă imaginea optică în imagine electrică (semnale electrice) este un tub fotoelectric de construcţie specială, cunoscut sub numele de *tub captor de imagine*. Cel mai simplu tub fotoelectronic de acest fel este *iconoscopul* (inventat în 1934). La iconoscop imaginea se formează pe o placă pătrată de mică, groasă de cîteva zecimi de milimetru, avînd latura de 8—10 cm, pe care s-au pulverizat, prin metode speciale, un mare număr de picături de argint pur, izolate unele de altele (cîteva zeci de mii pe fiecare cm^2). Placa astfel construită se numeşte „mozaic“. Pe partea cealaltă a plăcii se află un strat foarte subţire de argint care se numeşte „placa de semnal“. Fiecare granulă sensibilă împreună cu placa de semnal alcătuieşte un mic condensator electric. Placa astfel preparată este aşezată în interiorul unui tub de sticlă (fig. 121, *a*) în care este vid. Un obiectiv, aşezat în faţa mozaicului, formează imaginea optică a obiectivului pe celulele sale. Părţile diferit iluminate ale imaginii vor provoca pe celulele sensibile ale mozaicului o emisiune de electroni. Celulele iluminate mai puternic vor emite mai mulţi electroni, iar celulele iluminate mai slab vor emite mai puţin (fig. 121, *b*). Aceşti electroni sînt culeşi de anodul *A* (fig. 121, *a*). Celulele mozaicului pe care s-a format imaginea prin emisiunea de fotoelectroni, au rămas încărcate pozitiv. Aceste celule sînt explorate succesiv de un fascicul electronic emis

Scanned with OKEN Scanner

de un dispozitiv, numit *tun electronic* (fig. 121, *c*), care compensează electronii emiși de celule. În felul acesta, în rezistența R va exista un curent electric a cărui intensitate variază în funcție de variația intensității luminoase a diferitelor părți ale imaginii. Acest curent amplificat joacă rolul curentului microfonic la postul de emisiune. Actualmente, pentru emisiune, se folosește un aparat mult mai sensibil, „superorticonul", a cărui sensibilitate este apropiată de sensibilitatea ochiului.

La recepția imaginilor televizate se folosește un tub receptor,

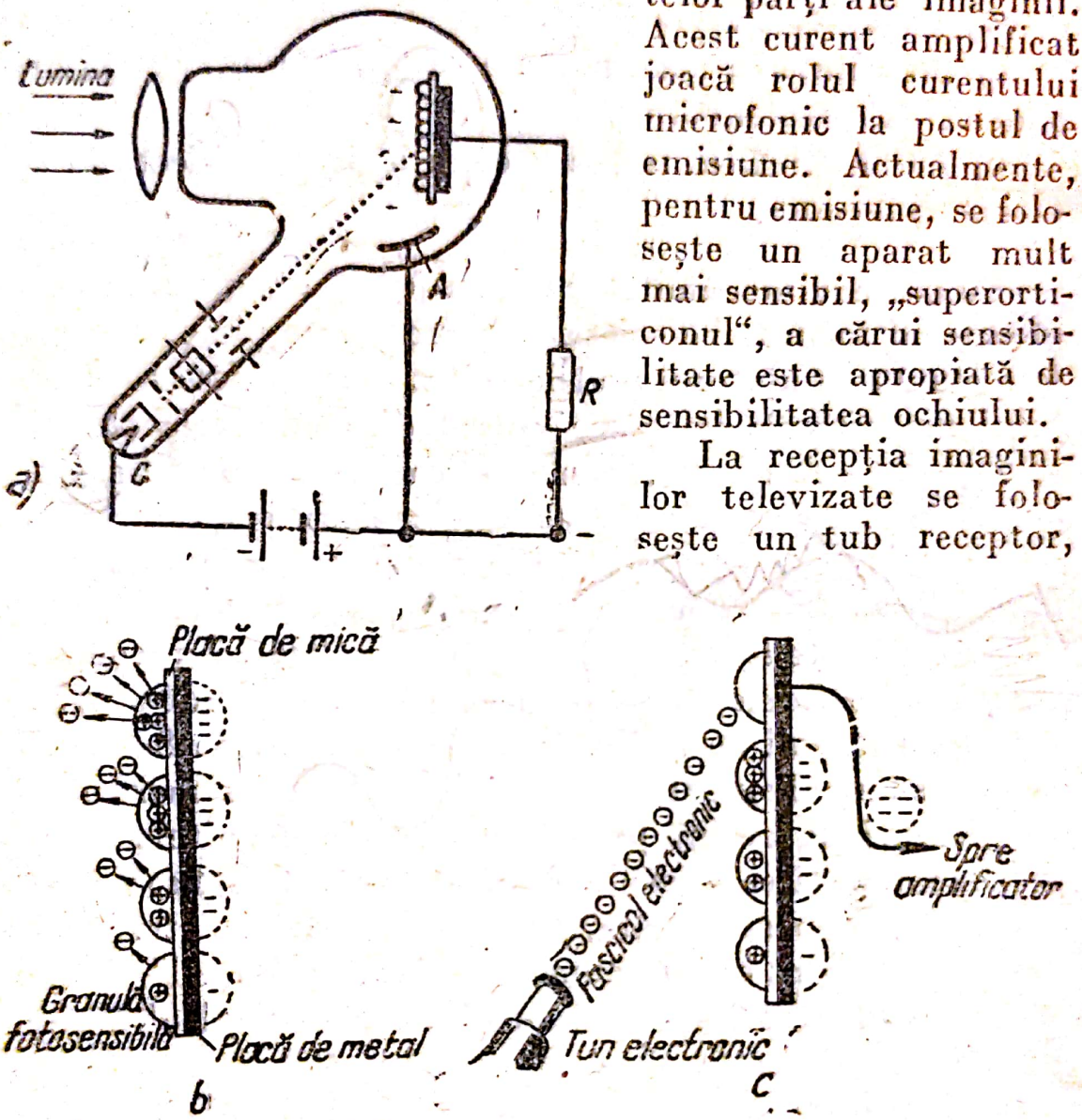


Fig. 121. Iconoscopul:
a — schema de principiu; *b* și *c* — producerea semnalului electric.

pentru televiziune, numit *kinescop*. Se cunosc două feluri de kinescoape: *cu deflexie magnetică*, cele mai utilizate și cu *deflexie electrostatică*, puțin utilizate.

În figura 122 este reprezentată schema kinescopului cu deflexie magnetică. Partea sa fundamentală este *tubul cu raze catodice*, construit din sticlă (uneori metalic) și avînd forma din figură. În interior este realizat un vid cît mai înaintat. Tot aci se găsesc: *catodul* — sursa de electroni

Scanned with OKEN Scanner

— de formă cilindrică, aflat în interiorul unui cilindru metalic coaxial, numit *grila de comandă* sau *electrod modulator*. Grila de comandă are rolul de a concentra fluxul de electroni, ce ies din catod, într-un fascicul dirijat și totodată de a *varia intensitatea acestui flux electronic*, prin aplicarea unei tensiuni corespunzătoare. Cei doi electrozi alcătuiesc *tunul electronic*. La unele kinescoape, electrodul modulator este separat situat în fața cilindrului metalic, coaxial cu

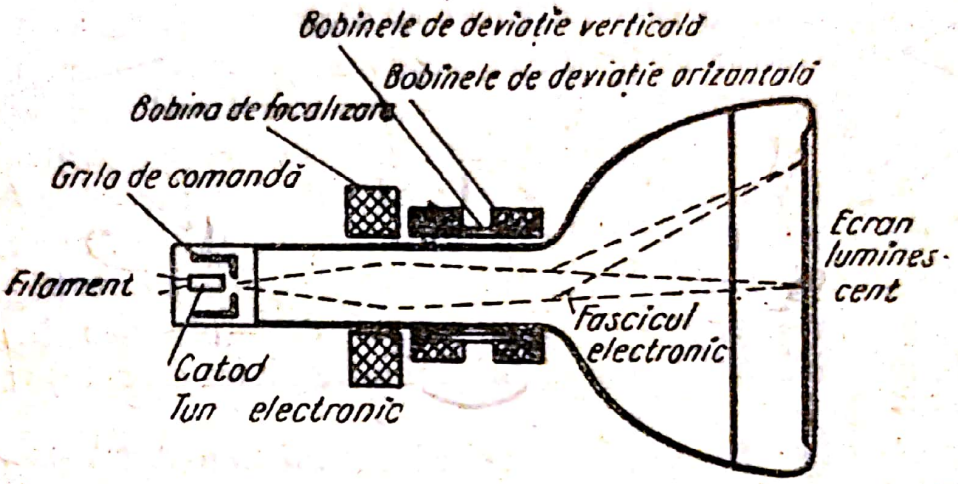


Fig. 122. Tub de imagine (kinescop) cu deviere magnetică.

catodul, căruia îi rămîne doar sarcina de *electrod de dirijare*. Pe gîtul tubului, în exterior, este montată o bobină care focalizează electronii într-un fascicul îngust. Urmează apoi două perechi de bobine, numite *bobinele de deflexie pe verticală* și *bobinele de deflexie pe orizontală* a fasciculului electronic. Bobinele de deflexie pe verticală, prin cîmpul magnetic creat, produc deviația fasciculului electronic în plan vertical; bobinele de deflexie pe orizontală produc deviația fasciculului electronic în plan orizontal. La kinescoapele cu deflexie electrostatică, focalizarea și deviația fasciculului electronic se obține cu ajutorul unor electrozi, montați în interiorul tubului, cărora li se aplică tensiuni corespunzătoare.

După ce iese din cîmpurile magnetice deviatoare, fasciculul electronic cade pe fundul tubului, care este acoperit pe partea interioară cu o substanță electroluminescentă ce alcătuiește ecranul tubului. Sub bombardamentul electronilor, ecranul se ilumineză, mai puternic sau mai slab, după intensitatea fasciculului electronic (mai mare sau mai mică). Pentru a îndepărta electronii de pe ecran și totodată

Scanned with OKEN Scanner

pentru a proteja fasciculul electronic de acțiunea unor cîmpuri exterioare, ecranul, care este bun conductor, este pus în legătură cu pămîntul. Această legătură se realizează prin intermediul unui strat de grafit coloidal sau de argint depus pe pereții laterali ai tubului. Pentru buna funcționare a kinescopului, acesta mai este prevăzut și cu alte dispozitive, descrise în tratatele de specialitate.

Funcționarea kinescopului. Semnalul (optic) de televiziune, după ce a fost detectat și amplificat, se aplică pe electrodul modulator (grila de comandă). Ca urmare, intensitatea fasciculului electronic va varia în ritmul semnalului. Bobinelor de deflexie li se aplică semnale electrice variabile, astfel încît fasciculul electronic al tubului receptor să se miște sincron cu fasciculul tubului captor de imagine și în timp de 0,1 s să măture tot ecranul: pe orizontală — de la stînga la dreapta — și pe verticală — de sus în jos (aceste mișcări le fac și ochii noștri cînd citim o carte) reproducînd imaginea transmisă.

În afară de televiziune, tubul catodic cu deflexie electrostatică se folosește și în alte domenii, ca: radiotehnică, radiolocație, electronică etc. pentru studiul diferitelor fenomene variabile în timp și este cunoscut sub numele de osciloscraf catodic. Pentru transmiterea programelor de televiziune se folosesc undele ultrascurte (undele metrice), care prezintă însă dezavantajul că nu urmăresc curbura Pămîntului. Datorită acestui neajuns recepționarea undelor directe, în condițiuni bune, se face pînă la 80—100 km depărtare de postul de emisiune. Pentru recepționarea la distanțe mari se construiesc din 80 în 80 km stații intermediare care recepționează programul postului central, îl amplifică și îl retransmit. Aceste stații se numesc stații de retranslație.

După cum s-a mai spus, în țara noastră s-a creat un post central de televiziune și cîteva stații de retranslație, numărul acestora fiind în creștere. Trebuie menționat că televiziunea, folosită pînă de curînd în scopul satisfacerii necesităților de ordin cultural a oamenilor muncii și-a găsit aplicații și în domeniul științei și al industriei. Așa, de exemplu, televiziunea ajută la cercetările nucleare, acolo unde nu se pot folosi observatori direcți; în medicină ajută la transmiterea intervențiilor chirurgicale din sala de operații. În oțelării, televiziunea ajută la urmărirea procesului de topire în cuptoare. Un capitol nou al televiziunii: televiziunea

Scanned with OKEN Scanner

submarină ajută la verificarea unor construcții submarine, la identificarea epavelor scufundate etc. De asemenea, televiziunea și-a găsit aplicație și în astronomie, permițînd fotografierea corpurilor cerești. Oamenii de știință sovietici au reușit să recepționeze pe Pămînt imaginile televizate ale ființelor vii de la bordul navelor cosmice și să transmită, pentru prima dată pe pămînt, imaginea unui corp ceresc fotografiat de o navă cosmică — fotografia fetei opuse a Lunii. S-a făcut deci primul pas spre televiziunea interplanetară.

Este necesar să se menționeze că în stadiul actual al televiziunii, pe lîngă televiziunea alb-negru s-a pus la punct și televiziunea în culori.

107. **Cinematograful sonor.** Realizarea cinematografului sonor se datorește tot celulei fotoelectrice. Sunetul este înregistrat optic pe același film cu imaginile, pe o bandă sonoră (fonogramă) într-unul din următoarele două moduri:

a) înregistrare cu transparență variabilă și suprafață constantă;

b) înregistrare cu transparență constantă și suprafață variabilă.

La primul mod de înregistrare a sunetului pe film, în principiu, curentul microfonic amplificat este aplicat pe electrozii unui tub luminescent, variindu-i intensitatea luminoasă în ritmul acestui curent. Un sistem optic concentrează lumina, sub forma unui fascicul, de o anumită lățime și grosime, pe porțiunea de film destinată înregistrării sunetului. Lumina va impresiona filmul (care rulează cu aceeași viteză ca la înregistrarea imaginilor) mai puternic sau mai slab, după cum variază curentul microfonic. Prin developare se face vizibilă fonograma constituită din porțiuni transversale de suprafețe egale dar de transparențe diferite (figura 123, *a*).

În cazul celui de-al doilea mod de înregistrare curentul microfonic amplificat trece printr-o bobină mobilă, ce se poate roti în jurul unui ax într-un cîmp magnetic. Bobina este solidară cu axul de care este fixată o mică oglindă pe care cade un fascicul îngust de raze paralele. Aceste raze sînt reflectate pe film. La trecerea curentului microfonic prin bobina mobilă, aceasta va oscila sub acțiunea cîmpului magnetic în ritmul variațiilor curentului microfonic; odată cu ea va oscila în același fel și oglinda. Ca urmare, pe mar-

ginea filmului care rulează, ca mai sus, spotul luminos al fasciculului oscilează transversal în același ritm. După developare, se obține pe marginea filmului fonograma de transparență constantă, dar de suprafață variabilă.

Reproducerea sunetelor înregistrate pe film are loc în modul următor: lumina care provine de la un dispozitiv

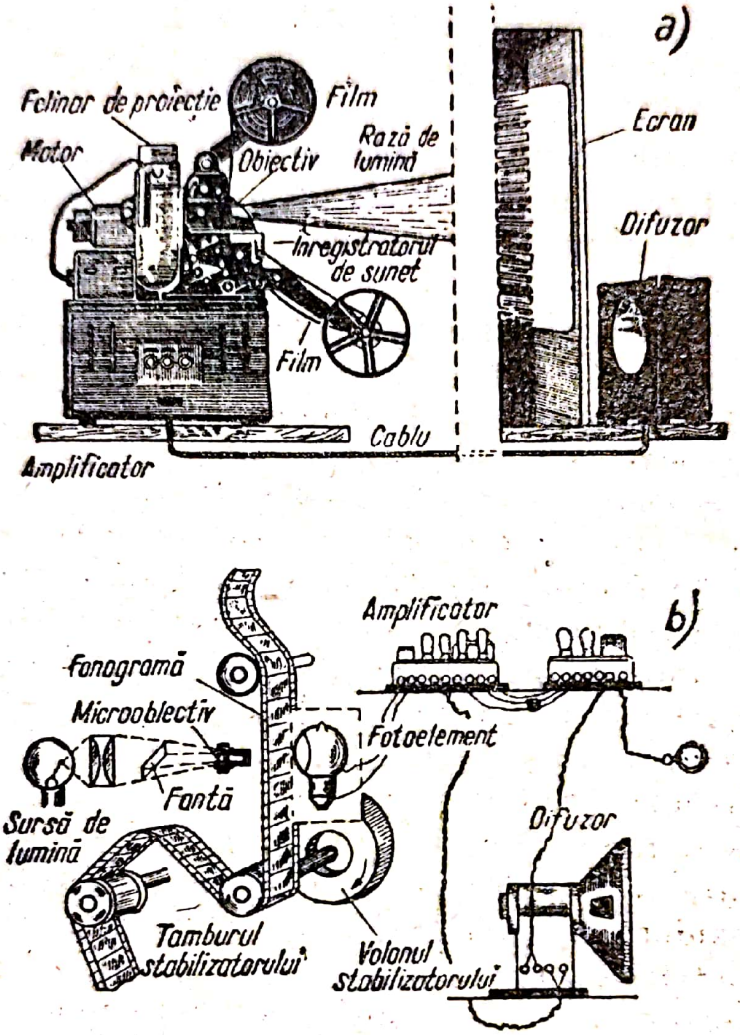


Fig. 123. Cinematograful sonor:
a — instalație; *b* — citirea fonogramei de către celula fotoelectrică.

special de iluminat (microobiectiv), sub forma unui fascicul paralel, trece prin banda sonoră și cade pe o celulă fotoelectrică. Intensitatea fasciculului de lumină ce cade pe celulă variază fie în raport cu transparența fonogramei, fie în raport cu suprafața ei. Ca urmare, fotocurentul va avea aceleași variații ca și sunetul înregistrat. Deoarece fotocurentul celulei este foarte slab, este amplificat de un amplificator electronic și trimis apoi într-un difuzor care îl transformă în sunet (fig. 123, *b*).

Scanned with OKEN Scanner

108. Presiunea luminii. Relația reciprocă dintre masă și energie. Printre diferitele acțiuni ale luminii asupra corpurilor pe care cade, un rol important îl are acțiunea cunoscută sub numele de *presiunea luminii*. Existența presiunii luminii a constituit un sprijin al teoriei electromagnetice a luminii și a ajutat la explicarea unor probleme de astronomie. Ideea presiunii luminii a fost inspirată din teoria emisiunii, a lui Newton, și-i aparține lui Kepler, care a văzut în aceasta explicarea cozii cometelor. Cel care a stabilit necesitatea existenței presiunii luminii a fost Maxwell, care a demonstrat că lumina exercită o presiune pe suprafața unui corp, care o reflectă sau o absoarbe.

Cel care a măsurat, pentru prima dată presiunea luminii asupra solidelor, dovedind justețea ipotezei lui Maxwell, a fost savantul rus P. N. Lebedev (1901)[1]. Experiențele făcute de el au fost, pentru timpul său, foarte dificile. Meritul lui Lebedev este cu atît mai mare, deoarece acest fenomen este însoțit de alte fenomene care pot altera măsurătorile, dacă acestea nu sînt înlăturate la timp.

În anul 1908, tot Lebedev a reușit să măsoare presiunea exercitată de lumină asupra gazelor. Demonstrația experimentală a existenței presiunii luminii, de către Lebedev, prezintă o importanță deosebită, nu numai pentru teoria electromagnetică a luminii, ci și pentru că ne conduce la ipoteza *că lumina posedă o masă*, deoarece ea exercită o presiune asupra corpurilor pe care cade.

Expresia masei luminii (respectiv a fotonului radiației de frecvența ν, $\varepsilon = h\nu$) se poate afla în modul următor:

Să considerăm suprafața ΔS a unui corp care absoarbe complet radiațiile ce cad pe ea (corp negru) și să presupunem că pe această suprafață cade, perpendicular, un fascicul paralel de fotoni de lumină. Fie E energia luminoasă absorbită de suprafață în intervalul de timp Δt și c — viteza luminii.

Din determinările lui Lebedev rezultă că presiunea exercitată de lumină pe suprafața corpului pe care cade, se poate exprima prin relația:

$$p = \frac{E}{c \cdot \Delta t \cdot \Delta S}.$$

[1] *P. N. Lebedev* (1866—1912). A determinat presiunea luminii și s-a ocupat cu studiul magnetismului pămîntesc și al undelor scurte electromagnetice.

Această presiune se datorește bombardării suprafeței de către fotonii de lumină, care în momentul ciocnirii vor fi frînați. Dacă în momentul ciocnirii toți fotonii cedează complet impulsul lor (corp absolut negru), viteza lor se va reduce la zero. Ținînd seama că variația impulsului în unitatea de timp este egală cu forța, rezultă că variația impulsului fotonilor în unitatea de timp, pe unitatea de suprafață reprezintă tocmai presiunea exercitată de lumină. Dacă M este masa totală a acestor fotoni, atunci se poate scrie că: $\frac{E}{c \cdot \Delta t \cdot \Delta S} = \frac{M\frac{\Delta v}{\Delta t}}{\Delta S}$, unde $\Delta v = c$, deoarece viteza fotonilor variază de la c la 0. Deci: $\frac{E}{c \cdot \Delta t \cdot \Delta S} = \frac{M \cdot c}{\Delta t \cdot \Delta S}$.

Din această relație rezultă că: $E = M \cdot c^2$ (35). Pentru un singur fonton de masă m și de energie $\varepsilon = h\nu$, relația (35) se scrie:

$$h\nu = mc^2,$$

adică:

$$m = \frac{h\nu}{c^2}. \qquad (35')$$

În mecanica relativistă se demonstrează că masa unei particule în mișcare variază cu viteza după legea Lorentz-Einstein:

$$\boxed{m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}} \qquad (36)$$

unde: m_0 este masa de repaus;
v — viteza particulei;
c — viteza luminii.

Aplicînd această relație pentru fotoni, deducem că:

$$m_0 = m\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} = 0,$$

de unde tragem concluzia că fotonii au numai masă de mișcare, deci nu există fotoni în repaus.

Scanned with OKEN Scanner

Să înlocuim în relaţia (35′) pe $h\nu$ prin ε (energia fotonului); rezultă că:

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} \quad \text{sau} \quad \boxed{\varepsilon = mc^2.} \tag{37}$$

Această expresie exprimă legătura dintre masa şi energia luminii şi prezintă o foarte mare importanţă ştiinţifică. După cum s-a stabilit ulterior, ea poate fi aplicată nu numai fotonilor, ci oricărei particule, de masă oarecare m, devenind astfel o lege generală stabilită de către Einstein, pe care o scriem sub forma:

$$\boxed{E = mc^2.} \tag{38}$$

Această lege stabileşte legătura dintre masă şi energie, iar sensul ei constă în aceea că un obiect material, avînd o anumită masă, posedă şi o anumită energie corespunzătoare acestei mase.

109. **Lumina ca fenomen ondulatoriu şi corpuscular.** În paragrafele 83, 84, 87 s-au studiat o serie de fenomene, ca: interferenţa luminii şi difracţia. Aceste fenomene pledează pentru natura ondulatorie a luminii. Pe de altă parte, s-a văzut că efectul fotoelectric nu poate fi explicat decît admiţînd că energia luminoasă nu poate fi absorbită şi emisă decît în cantităţi discrete de energie, numite fotoni. Mai mult, Einstein a arătat că lumina nu numai că este absorbită şi emisă sub formă de fotoni, ci ea însăşi posedă însuşiri cuantice. Experienţele făcute de către Compton au demonstrat această natură cuantică a luminii. Astfel a luat naştere *teoria cuantică* sau *teoria fotonică* a luminii. Dacă încercăm să aplicăm teoria fotonică în explicarea fenomenelor de optică ondulatorie, posibilitatea de înţelegere a acestor fenomene rămîne neclară şi invers, în cazul cînd am încerca să explicăm fenomenele de optică fotonică (efectul fotoelectric) prin teoria ondulatorie. Se pune întrebarea dacă lumina este un fenomen ondulatoriu sau cuantic, sau prezintă ambele proprietăţi simultan. Cercetările întreprinse au arătat că ar fi inutil să opunem proprietăţile corpusculare ale luminii celor ondulatorii,

încercînd să explicăm totalitatea fenomenelor optice cunoscute, fie numai prin teoria cuantică (fotonică), fie numai prin cea ondulatorie.

Înțelegerea adevărată a naturii luminii ne-o poate da numai sinteza concepțiilor ondulatorii și corpusculare. Acest punct de vedere se impune și pentru înțelegerea proprietăților microparticulelor, așa cum a arătat fizicianul francez Louis de Broglie. Acest savant a emis ipoteza îndrăzneață că dualismul undă-corpuscul nu este o proprietate caracteristică numai fenomenelor optice, ci este o proprietate generală a microparticulelor, spre exemplu, a electronilor. Verificarea experimentală a acestei ipoteze a demonstrat că lumina și microparticulele substanței obișnuite au însușiri fundamentale, corpusculare și ondulatorii. Aceasta înseamnă că între caracterul continuu (ondulatoriu) și discontinuu (corpuscular) al materiei, însușiri contrarii, există o unitate dialectică.

În concluzie, rezultă deci că lumina este o formă a materiei în mișcare, avînd proprietăți ondulatorii și corpusculare.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. Ce se înțelege prin efect fotoelectric și de cîte feluri este?
2. Care sînt legile efectului fotoelectric și cum se explică?
3. Ce este celula fotoelectrică și ce aplicații are?
4. Ce importanță prezintă televiziunea?
5. Cum este construit iconoscopul și cum funcționează?
6. Ce importanță prezintă descoperirea existenței presiunii luminii?

PROBLEME

1. Folosind relația lui Einstein: $E = mc^2$, să se calculeze masa fotonului de lumină vizibilă, cunoscînd:

$\lambda = 5000\ \text{Å}$, $h = 6{,}624 \cdot 10^{-27}$ erg. s și $c = 3 \cdot 10^5$ km/s.

R. $4{,}416 \cdot 10^{-38}$ g.

2. Se dau radiațiile extreme ale spectrului vizibil $\lambda_r = 0{,}75\mu$ și $\lambda_v = 0{,}45\ \mu$. Să se calculeze energiile fotonilor corespunzători acestor radiații.

R. $2{,}64 \cdot 10^{-12}$ erg și $4{,}41 \cdot 10^{-12}$ erg.

Scanned with OKEN Scanner

3. Să se determine impulsul și masa fotonului corespunzător radiației X cu $\lambda = 10^{-8}$ cm.

R. $6{,}62 \cdot 10^{-19}$ g·cm/s; $2{,}21 \cdot 10^{-29}$ g.

4. Să se calculeze frecvența și lungimea de undă a unei radiații monocromatice a cărei putere este egală cu $4{,}416 \cdot 10^{-1}$ W, ceea ce corespunde la 10^{18} fotoni/s.

R. $\nu = \frac{1}{15} \cdot 10^{16}$ Hz; $\lambda = 4\,500$ Å.

Indicații: $P = n\varepsilon$, unde n = numărul de fotoni/s.

5. O placă de zinc este iradiată cu o radiație monocromatică de lungime de undă $\lambda = 1\,850$ Å. Să se calculeze viteza cu care fotoelectronii părăsesc metalul, dacă lucrul de ieșire $W_{ies} = 3{,}74$ eV[1].

R. $\approx 4{,}8 \cdot 10^{8}$ cm/s.

6. Lucrul de ieșire al fotoelectronilor din potasiu este 2,15 eV. Să se calculeze lungimea de undă a pragului fotoelectric al potasiului.

R. $\lambda_0 = 5770$ Å.

---

[1] Electronvoltul (eV) este unitatea de energie egală cu energia pe care o cîștigă un electron cînd străbate o diferență de potențial de 1 V.
10^6 e V = 1 Me V (megaelectronvolt).
1 e V = $1{,}60201 \cdot 10^{-12}$ J.

IV

ELECTRONII

STRUCTURA ATOMULUI

110. **Emisiunea electronică: termoelectronii și fotoelectronii.** După cum știm, curentul electric ia naștere prin deplasarea dirijată a sarcinilor electrice. Aceste sarcini se pot deplasa în conductoare, în gaze, printre particulele neutre ce se mișcă dezordonat și în spații cu vid înaintat. Aceste sarcini pot fi pozitive sau negative, sarcini elementare sau ioni. Știm că în conductoarele metalice, în tuburile catodice și în tuburile electronice, curentul electric se datorește electronilor, despre care știm că sînt particule încărcate cu sarcini elementare negative. Mărimea sarcinii electronului a fost determinată prin diferite metode, obținîndu-se totdeauna aceeași valoare: $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ C. De asemenea, din studiile făcute asupra electronului s-a putut determina și masa lui, găsindu-se: $m = 9{,}108 \cdot 10^{-28}$ g. Electronii intră în structura atomului, după cum vom vedea mai departe. În metale, electronii de valență pot fi considerați liberi, ca aparținînd întregului cristal (electroni colectivizați). Electronii liberi se deplasează în interiorul metalului, dar nu-l pot părăsi fără intervenția unei cauze exterioare. Pentru a putea scoate electronii dintr-un metal, trebuie să cheltuim o anumită cantitate de energie, spre a învinge forțele care rețin electronii în metal. Ieșirea electronilor din suprafața unui corp se numește *emisiune electronică*.

După modul cum se creează electronilor posibilitatea să părăsească corpul respectiv, cunoaștem următoarele forme de emisiune electronică:

a) emisiune termoelectronică;

b) emisiune fotoelectronică.

a) *Emisiunea termoelectronică.* Fenomenul de emisiune termoelectronică în vid a fost descoperit de către Edison, în anul 1883, studiind becul cu incandescență, cu filament de cărbune. El a constatat că, dacă introduce în acest bec, pe lîngă filamentul K, o placă metalică A pe care o leagă de capătul pozitiv al filamentului prin intermediul unui galvanometru G, acesta indică prezența unui curent electric (fig. 124). Dacă placa era legată la capătul negativ al filamentului, sau dacă filamentul nu era încălzit, galvanometrul nu

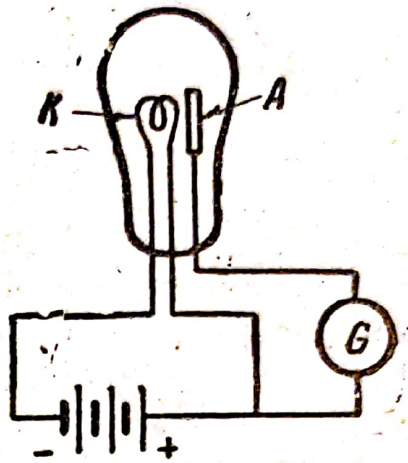


Fig. 124. Demonstrarea emisiunii termoelectronice.

indica nici un curent între filament și placă. Acest fenomen se explică astfel: prin încălzirea metalului, în cazul de mai sus prin încălzirea filamentului de către curentul electric care trece prin el, electronii liberi de la suprafața metalului capătă un surplus de energie cinetică. Pe baza acestui surplus de energie, electronii liberi pot învinge forțele de reținere ale metalului și astfel părăsesc suprafața lui, adică are loc o emisiune de electroni.

Fenomenul de emisiune a electronilor de către metalele încălzite se numește emisiune termoelectronică. Termoelectronii emiși de metalul încălzit se răspîndesc în jurul lui creînd o *sarcină spațială negativă*, care împiedică ieșirea celorlalți electroni, chiar dacă aceștia au o energie cinetică capabilă să învingă forțele de reținere. Dacă în apropierea metalului încălzit așezăm un electrod pozitiv (cazul plăcii din bec), atunci termoelectronii sarcinii spațiale se îndreaptă spre acesta, dînd naștere la un curent termoelectronic. De fapt, experiența de mai sus constituie principiul diodei, despre care am discutat la tuburile electronice. Pe măsură ce crește temperatura metalului, crește și numărul de electroni care părăsesc suprafața lui.

Emisiunea fotoelectronică. Prin *emisiune fotoelectronică* înțelegem emisiunea electronică a metalelor și a compușilor metalici provocată de iluminarea lor cu lumină de diferite

lungimi de undă. Emisiunea fotoelectronică se mai numește și efect fotoelectric exterior, care a fost studiat.

Din studiul acestor fenomene s-a stabilit că toți electronii emiși, indiferent de substanța emisivă și de modul în care are loc emisia electronică, sînt identici. Aceasta a dus la concluzia că electronii sînt particule componente ale atomilor oricărui element, deci atomii nu sînt particule elementare, ci au o structură complexă.

111. **Masa electronului și variația ei cu viteza.** După ce s-a măsurat sarcina electronului, s-a pus și problema determinării masei sale. În acest scop, prin diferite metode experimentale, s-a determinat mai întîi raportul dintre sarcina și masa electronului (e/m), cunoscut sub numele de *sarcina specifică* a electronului. S-a găsit valoarea: $e/m = 1{,}7589 \cdot 10^{11}$ C/kg. Prin calcule s-a determinat apoi și masa electronului. S-a obținut valoarea $m_e = 9{,}108 \cdot 10^{-28}$ g $= 9{,}108 \cdot 10^{-31}$ kg. Comparînd această valoare cu valoarea masei atomului de hidrogen, care este cel mai ușor atom ($1{,}673 \cdot 10^{-24}$ g), constatăm că masa electronului este de ≈ 1836 ori mai mică decît masa atomului de hidrogen.

Masa electronului are o valoare constantă numai dacă viteza este mult mai mică decît viteza luminii în vid. Dacă viteza electronului crește, apropiindu-se de viteza luminii în vid, atunci crește și valoarea masei lui, după cum s-a constatat și experimental.

Conform teoriei relativității, masa oricărui corp în mișcare trebuie să varieze după formula lui Lorentz-Einstein:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \tag{39}$$

unde m_0 este masa de repaus a corpului, $\beta = \frac{v}{c}$, v fiind viteza corpului, iar c viteza luminii în vid.

Dacă viteza corpului este mult mai mică decît viteza luminii în vid, raportul: $\beta = \frac{v}{c}$ este practic nul. Din relația Lorentz-Einstein, scrisă sub forma: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$,

va rezulta că $m = m_0$, adică masa este constantă, sau variația ei este neglijabilă. Dacă viteza corpului devine egală cu viteza luminii, atunci: $\frac{v}{c} = 1$, iar $m \to \infty$.

Deci, în cazul electronului, cînd viteza lui tinde să se apropie de viteza luminii, masa lui crește tinzînd să ajungă infinit de mare. Dacă presupunem, de exemplu, că: $v = \frac{c}{2}$, masa electronului a crescut de 1,15 ori.

ÎNVELIȘUL ELECTRONIC

112. **Modelele atomice.** După ce au fost descoperiți electronii și s-a constatat că ei intră în constituția atomilor oricărui element, participînd la producerea fenomenelor luminoase, s-a pus problema structurii atomului. Dacă electronii sînt purtători de sarcini elementare negative, înseamnă că în structura atomului trebuie să existe și purtători de electricitate pozitivă, într-o astfel de cantitate, încît atomul, în stare normală, să se manifeste ca neutru în exterior. Totodată trebuie lămurită și problema absorbției și emisiei de energie de către atom.

La început s-a presupus (J. J. Thomson ș.a.) că electricitatea pozitivă este repartizată pe o sferă cu diametrul de 10^{-8} cm, iar în interiorul ei se găsesc un număr de electroni, astfel încît sarcinile lor să compenseze electricitatea pozitivă. Acest *model* s-a dovedit însă necorespunzător și a fost părăsit. Trebuie totuși menționat că a avut un rol pozitiv în istoria științei.

În urma cercetărilor întreprinse, Rutherford (1871—1937) a admis ipoteza lui J. Perrin (1901), după care atomul are un nucleu central în care se găsesc sarcinile pozitive, iar electronii gravitează în jurul nucleului ca planetele în jurul Soarelui. Rutherford, prin experiențe, a găsit că diametrul nucleului este de ordinul 10^{-12} — 10^{-13} cm, avînd concentrată în el toată masa atomului. În nucleu se găsesc un număr Z de particule care posedă fiecare o cantitate de electricitate pozitivă egală cu sarcina unui electron (în valoare absolută). Numărul acestor particule este egal cu *numărul de ordine* din sistemul periodic al elementelor. Numărul Z a căpătat numele de *număr atomic*, repre-

Scanned with OKEN Scanner

zentînd una din caracteristicile principale ale atomului. Luînd ca unitate de măsură a sarcinii nucleului, sarcina electronului e, numărul Z reprezintă sarcina electrică a nucleului exprimată în unități e. În jurul nucleului gravitează Z electroni, sub acțiunea forțelor de atracție exercitate de nucleul central. Pe baza acestui model atomic *(modelul lui Rutherford)*, deși s-au putut explica o serie de proprietăți ale atomului, nu s-a putut explica emisiunea spectrelor de linii discontinue. Electronii, rotindu-se în jurul nucleului sub acțiunea forțelor de atracție exercitate de acesta, posedă o accelerație centripetă datorită căreia, pe baza teoriei clasice, atomul ar trebui să emită în mod continuu unde electromagnetice. Aceasta contrazice faptul experimental că atomul emite numai atunci cînd este excitat într-un mod oarecare. Pe de altă parte, emisiunea de energie electromagnetică implică o scădere a energiei electronului în mișcarea lui pe traiectoria circulară. Ca urmare, distanța dintre electron și nucleu s-ar micșora mereu, sfîrșind prin căderea electronului pe nucleu, iar spectrul lui ar trebui să fie continuu, pe cînd, în realitate, este discontinuu, după cum s-a văzut la spectroscopie. Deci, acest model, sub forma lui inițială, este instabil din punct de vedere electromagnetic. Acest neajuns și altele au fost înlăturate de fizicianul danez Niels Bohr (1913) care a folosit noțiunea de cuantă de energie, introdusă de Planck. Bohr și-a fundamentat teoria sa cu privire la structura atomului pe următoarele două postulate, cunoscute sub numele de *postulatele lui Bohr*.

1) Atomii și sistemele atomice se pot găsi timp îndelungat numai în stări bine determinate, numite stări staționare. În aceste stări, atomii nu emit și nu absorb energie, deși au loc mișcări ale sarcinilor lor electrice. Energiile corespunzătoare stărilor staționare formează un șir discontinuu: $W_1, W_2, W_3, \ldots, W_n$. Stările staționare se caracterizează prin stabilitatea lor, orice variație de energie putînd avea loc numai printr-un salt de la o stare la alta.

Aceasta înseamnă că electronii planetari nu se pot mișca decît pe anumite orbite, în jurul nucleului, numite orbite staționare. Aceste orbite se notează, începînd de la nucleu spre exterior, cu literile K, L, M, N.

2) La trecerea dintr-o stare în alta, atomii absorb sau emit radiații de frecvențe bine determinate. De exemplu, radiația emisă la trecerea din starea energetică W_m în starea

W_n este monocromatică, iar frecvența ei este dată de relația:

$$\boxed{h\nu = W_m - W_n.} \qquad (40)$$

Din postulatul 1 rezultă că un atom poate să nu emită radiații, deși electronii care intră în structura lui efectuează o mișcare accelerată (de exemplu, mișcarea pe orbite închise)

După cel de-al doilea postulat, frecvențele radiațiilor emise nu au nimic comun cu frecvențele mișcărilor periodice ale electronilor.

Rezultă deci că atomul lui Bohr emite și absoarbe energie în mod discontinuu, sub formă de cuante. Modelul atomului imaginat de Bohr a avut o importanță foarte mare. El a explicat în mod satisfăcător procesul emisiunii și absorbției luminii, cîteva legi ale spectrelor emise de atomi, în primul rînd legile spectrului de hidrogen și a interpretat structura spectrelor Roentgen.

Importanța teoriei lui Bohr constă în aceea că ea a fost prima încercare de a explica, prin relații și legi intraatomice, proprietățile fizice și chimice ale substanței. Acest model s-a dovedit însă insuficient pentru explicarea legilor interacțiunii dintre atom și cîmpul electromagnetic: pe baza lui nu se puteau explica o serie de proprietăți ale spectrului de hidrogen, precum și ale spectrelor pe care le au atomii cu o structură mai complexă. Ulterior s-au adus completări teoriei lui Bohr, pe baza mecanicii cuantice moderne și a teoriei relativității, care fac posibilă cunoașterea din ce în ce mai profundă a materiei. Astăzi știm că atomul este constituit dintr-o parte centrală — *nucleul* pozitiv, în care este concentrată toată masa atomului — și *învelișul electronic*. În învelișul electronic se găsesc atîția electroni cîte sarcini pozitive (protoni) are nucleul. Acești electroni sînt repartizați pe anumite nivele energetice, corespunzătoare depărtării lor de nucleu. De exemplu, atomul de hidrogen (H) are un singur electron, care, la atomul în stare normală, se află pe nivelul de energie minimă. Nucleul hidrogenului are o singură sarcină pozitivă (un singur *proton*). În cazul celorlalți atomi, cu numărul de ordine mai mare, electronii sînt așezați pe niveluri de energie în jurul nucleului. De exemplu, atomul de heliu (He) are doi electroni, așezați

Scanned with OKEN Scanner

pe primul nivel; litiul (Li) are trei electroni: doi electroni în primul nivel și al treilea pe nivelul al doilea etc. Pe nivelul al doilea se pot afla pînă la 8 electroni. Pe măsură ce numărul de ordine crește, repartiția electronilor este mai complicată. Electronii de pe ultimul nivel sînt electronii de valență.

113. **Nivelurile de energie ale atomului. Emisiunea și absorbția de energie de către atom.** Studiind modelul atomic al lui Bohr, vedem că un electron poate parcurge numai anumite traiectorii, care nu variază în mod continuu. Fiecărei traiectorii îi corespunde o anumită energie a electronului. Valorile energiei corespunzătoare fiecărei traiectorii se numesc *niveluri de energie*. Aceste niveluri variază de asemenea în mod discontinuu. Pentru a avea o vedere de ansamblu mai sugestivă se obișnuiește a se prezenta grafic aceste niveluri, precum și salturile care duc la absorbția și emisiunea de energie radiantă. Un nivel de energie se reprezintă printr-o dreaptă orizontală, alegînd ca origine a reprezentării, de exemplu, nivelul de energie corespunzătoare stării normale a atomului. Celelalte nivele, superioare de energie, vor fi reprezentate prin paralele duse la dreapta reprezentativă a nivelului de origine, situate cu atît mai sus cu cît energia corespunzătoare va fi mai mare. Pentru așezarea lor la o distanță corespunzătoare ducem o verticală pe care însemnăm valorile nivelurilor respective (fig. 125). Diferența dintre energiile a două niveluri ne dă valoarea cuantei emisă de atom, cînd electronul său sare de pe una din traiectoriile posibile mai depărtate, pe o traiectorie mai apropiată, conform teoriei lui Bohr. De exemplu: $h\nu = W_2 - W_1$ etc.

Figura 125 reprezintă graficul nivelurilor energetice ale atomului de hidrogen și tranzițiile corespunzătoare diferitelor radiații monocromatice. Pentru ca un atom să emită energie este necesar să fie excitat, adică să primească energie din exterior printr-un mijloc oarecare (încălzire electrică etc.) De remarcat că excitarea atomului are loc numai pentru acea cantitate de energie corespunzătoare trecerii de la un nivel energetic inferior la unul din nivelurile energetice posibile superioare (v. fig. 125). (Este vorba deci de un fenomen de rezonanță.) De aici rezultă că absorbția de energie se face cuantic. Totodată trebuie să știm că un atom excitat nu rămîne în această stare, ci, după excitație,

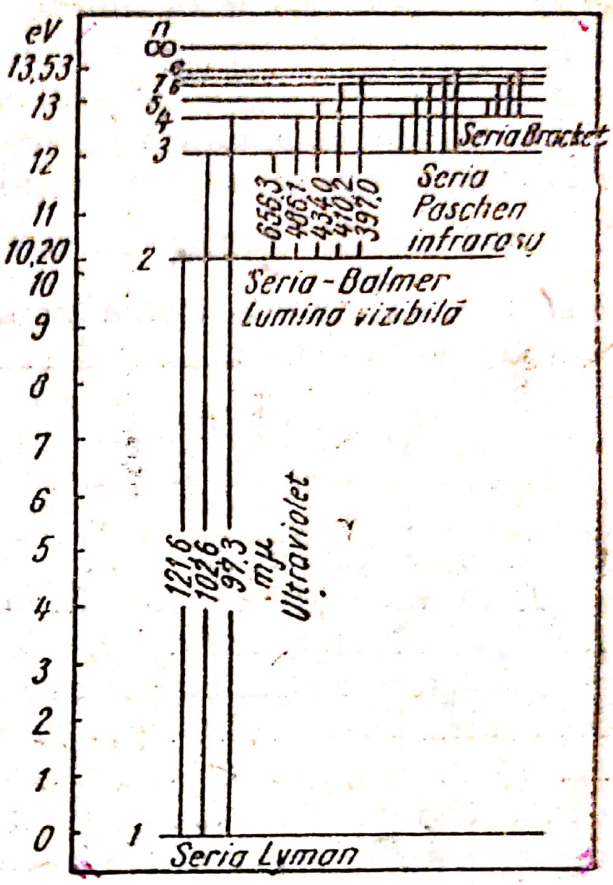


Fig. 125. Schema termenilor (nivelurilor) hidrogenului.

emite surplusul de energie primită, revenind la starea normală. Graficul nivelurilor energetice ale unui atom, așa cum a fost făcut pentru hidrogen, poate fi făcut pentru oricare alt atom, cu deosebirea că va fi mai complicat.

114. Serii spectrale. În a doua jumătate a secolului al XIX-lea s-a stabilit că spectrele de linii sînt emise de atomi și s-a observat că liniile din aceste spectre nu sînt dispuse la întîmplare, ci, de cele mai multe ori, ele formează grupuri bine definite, numite *serii spectrale*, care prezintă anumite caracteristici, ca, de exemplu: *a)* liniile unei serii spectrale se pot reprezenta printr-o serie unică; *b)* lungimile de undă ale unei serii, deduse cu ajutorul relației respective, se apropie din ce în ce unele de altele, pe măsură ce lungimea de undă scade. La un moment dat sînt așa de apropiate, încît cu foarte mare greutate se mai pot separa cu spectroscopul. Ele se îngrămădesc spre o limită, numită *limita seriei*, care este prevăzută de relația seriei respective; *c)* intensitatea liniilor spectrale dintr-o serie dată scade cu micșorarea lungimii de undă.

În 1885 Balmer (1825—1898), pentru prima dată, a arătat că se poate reprezenta seria spectrală a hidrogenului, pentru spectrul vizibil și cinci raze din ultraviolet, prin relația:

$$\lambda = 3\,646{,}13\,\frac{n^2}{n^2-4}\cdot 10^{-8}\ \text{cm} \qquad (41)$$

unde: $n = 3, 4, 5, \ldots 11$.

Această relație este cunoscută sub numele de *formula lui Balmer*. S-a dovedit că lungimile de undă ale seriilor spectrale, calculate cu ajutorul acestei formule, diferă extrem de puțin de cele observate experimental. Dacă în locul lungimii de undă (λ) se ia inversul său, pe care îl notăm $\tilde{\upsilon} = \frac{1}{\lambda}$, numit număr de undă, formula lui Balmer se mai poate scrie sub forma următoare:

$$\tilde{\upsilon} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \qquad (42)$$

unde: $n = 3, 4, 5, \ldots$

R se numește constanta lui Rydberg și are valoarea: $R = 109\,677{,}759\ \text{cm}^{-1}$.

Această formulă este foarte importantă, pentru că, dînd lui n diferite valori, se pot prevedea diferite linii spectrale ale hidrogenului; ea sugerează ideea că și alte elemente dau astfel de serii spectrale. Serii de felul acesta au fost descoperite în spectrul hidrogenului, purtînd numele descoperitorului lor (v. fig. 126). Coincidența calculelor efectuate, după formula de mai sus, cu lungimile de undă măsurate experimental, au dus la concluzia că această formulă redă anumite legi interne, caracteristice atomului de hidrogen. De remarcat că formula lui Balmer, stabilită cu mult înainte de apariția teoriei lui Bohr, a avut un rol important în studiul spectrelor și al structurii atomului. Ea a fost generalizată pentru toate liniile spectrale ale hidrogenului, sub forma:

$$\tilde{\upsilon} = R\left(\frac{1}{n^2_{\text{I}}} - \frac{1}{n^2_{\text{II}}}\right) \qquad (43)$$

cu n_{I} și n_{II}, numere întregi. Pentru fiecare serie spectrală, n_{I} dă seria spectrală, iar n_{II} dă numărul liniei din seria respectivă.

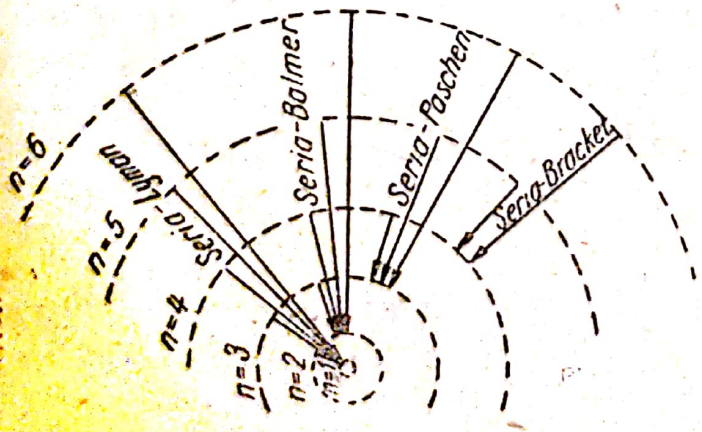


Fig. 126. Producerea liniilor spectrale ale hidrogenului.

Astfel, dacă $n_I = 1$, pentru $n_{II} = 2,3,...$, formula dă numerele de undă ale liniilor spectrale din seria Lyman, situată în ultraviolet. Dacă $n_I = 2$, pentru $n_{II} = 3,4,...$ obținem numerele de undă ale liniilor spectrale din seria Balmer, situate în ultravioletul apropiat și în vizibil.

Pentru $n_I = 3$ obținem seria Paschen, situată în infraroșul apropiat; pentru $n_I = 4$, seria Bracket, în infraroșul depărtat; iar pentru $n_I = 5$ se obține seria Pfund, în infraroșul mai depărtat.

RADIOACTIVITATEA. STRUCTURA NUCLEULUI

115. **Radioactivitatea naturală. Radiațiile α, β, γ.** În anul 1896, savantul francez H. Becquerel (1852—1908) a descoperit că sărurile de uraniu emit radiații care impresionează placa fotografică, la fel ca radiațiile X. În experiențele sale, Becquerel a așezat la întuneric, pe o placă fotografică învelită în hîrtie neagră, o sare de uraniu și, developînd placa după cîtva timp, a constatat că placa s-a înnegrit. De aici a dedus că uraniul emite radiații invizibile care produc asupra plăcii același efect ca și radiațiile X. Acestui fenomen i s-a dat numele de *radioactivitate* (de la cuvîntul latin *radium*=rază).

După cîțiva ani, Maria Sklodovska-Curie a descoperit în minereul de uraniu un metal nou, necunoscut pînă atunci, care emitea radiații invizibile mult mai puternice decît cele emise de uraniu. Acest metal a fost numit *radiu*.

Astăzi se cunosc peste 40 de elemente radioactive naturale, printre care se manifestă ca cele mai active: thoriul, poloniul (descoperit tot de Maria Curie) și radiul. Măsurîndu-se energia emisă de un gram de radiu în timp de o oră, s-au găsit 140 calorii. Caracterul general al manifestării legii conservării și transformării energiei a pus, în fața oamenilor de știință, problema de a cunoaște pe seama cui se degajă continuu o asemenea energie. În acest scop s-au cercetat radiațiile radioactive. Închizînd într-o cutie de plumb, prevăzută cu un mic orificiu, o cantitate de sare de radiu (fig. 127) și așezînd cutia într-un cîmp magnetic puternic

(în figură liniile de cîmp sînt reprezentate prin puncte, fiind perpendiculare pe planul figurii, și începînd de la cititor) s-a observat că radiul emite trei feluri de radiații. Aceste radiații sînt influențate în mod diferit de către cîmpul magnetic și au fost numite: radiații α (alfa), radiații β (beta) și radiații γ (gama).

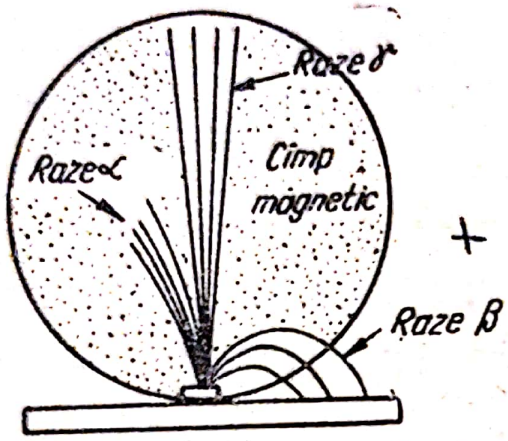


Fig. 127. Într-un cîmp magnetic, radiațiile emise de o substanță radioactivă se împart în trei fascicule (Polul N se află în fața figurii, iar polul S în spate).

Radiațiile α au următoarele proprietăți: sînt deviate de cîmpul magnetic și electric, mai puțin decît radiațiile β, în sensul în care este deviat un fascicul de particule pozitive. Din observațiile făcute s-a stabilit că sînt constituite dintr-un flux de nuclee de heliu care pot atinge viteze de $2 \cdot 10^7$ m/s; ionizează gazele; impresionează placa fotografică; au putere de pătrundere relativ mică. Razele α pot produce fluorescența unor substanțe; ele provin din nucleul atomului.

Radiațiile β se caracterizează prin următoarele proprietăți: sînt deviate puternic de cîmpul magnetic și electric, în sensul particulelor negative. Cercetările făcute asupra lor au arătat că se prezintă ca un flux de electroni avînd viteza de la 0 pînă la 1/3, sau chiar 0,998 din viteza luminii. Aceasta înseamnă că același element emite radiațiile β cu energii care variază în mod continuu de la o anumită limită în sus (pot fi emise cu toate energiile posibile), spre deosebire de radiațiile α care sînt emise cu energii bine stabilite. Pentru a explica acest fapt, fizicianul austriac W. Pauli a emis, în 1931, ipoteza că o dată cu radiațiile β se emit și niște particule elementare, neutre din punct de vedere electric, cu masa de repaus zero, numite *neutrino* (cu simbolul ν) cărora le revine diferența de energie. Această ipoteză a fost verificată experimental. Radiațiile β sînt emise de nucleu, dar nu sînt parte componentă a nucleului. Ele iau naștere în nucleu în urma transformărilor din interiorul acestuia; puterea de

ionizare este mult mai mică decît a radiațiilor α; impresionează placa fotografică.

Radiațiile γ nu sînt deviate de cîmpul magnetic sau electric. Aceasta dovedește că sînt de aceeași natură cu radiațiile X și radiațiile luminoase; produc fluorescența unor corpuri; au putere de pătrundere foarte mare. Pot trece cu ușurință printr-un bloc de fier de 30 cm grosime; o placă de Pb de 1,3 cm grosime le slăbește numai de două ori. Distrug țesuturile animale, atacă celulele bolnave și sînt vătămătoare sănătății dacă acțiunea lor este suportată mai mult timp; impresionează placa fotografică; emisiunea radiațiilor γ însoțește totdeauna emisiunea radiațiilor α sau β. Ea nu se produce niciodată singură. Lungimea de undă a acestor radiații este mai mică decît a radiațiilor X.

Din cercetările făcute s-a constatat că radiațiile α, β, γ provin din nucleele elementelor radioactive prin procesul de transformare spontană a acestor nuclee în alte nuclee mai ușoare.

Fenomenul se numește dezintegrare sau radioactivitate naturală și este însoțit de eliberarea unei mari cantități de energie. Datorită proprietăților pe care le au, radiațiile radioactive sînt mult folosite, atît în medicină pentru tratarea tumorilor canceroase (razele γ) cît și în tehnică, după cum se va vedea mai tîrziu.

116. Metode de cercetare în fizica nucleară. În paragraful anterior s-a văzut că, în urma proceselor care au loc în interiorul nucleelor atomice ale substanțelor radioactive, rezultă fie particule înzestrate cu energii uriașe, fie radiații de natură electromagnetică, dar care pot fi puse în evidență prin efectele pe care le produc. Pentru a se putea studia aceste procese s-au realizat diferite instalații experimentale, cum sînt: contori Geiger-Müller, camera Wilson etc.

Contorul Geiger-Müller este un numărător automat de particule, foarte utilizat în fizica nucleară. Acest contor este un dispozitiv de ionizare. Figura 128 reprezintă schema contorului Geiger-Müller. În principiu, contorul este format dintr-un cilindru metalic (catod), de 1 cm diametru și un fir metalic subțire, de cîteva sutimi de milimetru diametru, așezat în lungul axului, avînd rolul de anod. Contorul se află într-un tub de sticlă în care se pot găsi diferite gaze, de obicei la presiune redusă. Între cei doi electrozi se aplică o

Scanned with OKEN Scanner

tensiune continuă ridicată, dar sub valoarea la care se produce descărcarea în condițiile din tub. Cînd o particulă rapidă străbate spațiul dintre cei doi electrozi, ea produce o ionizare a gazului în urma ei și, ca urmare, între electrozi, are loc o descărcare de scurtă durată. Contorul este în legătură cu un amplificator electronic și un dispozitiv de numărat.

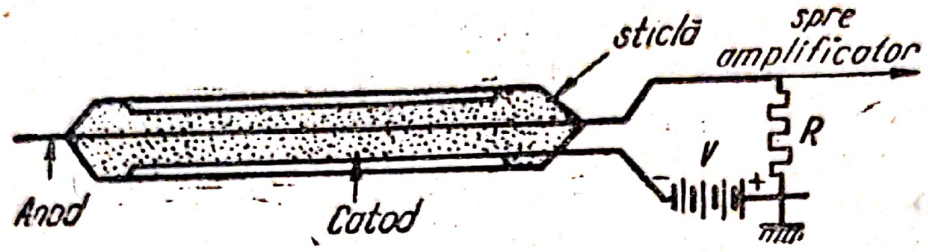


Fig. 128. Contor Geiger—Müller.

Pe lîngă contorul Geiger-Müller se întrebuințează azi și *contorii cu cristal*, pentru numărarea particulelor ionizante rapide. Aceștia se bazează pe proprietatea unor cristale de a-și mări brusc conductivitatea electrică la trecerea unei particule ionizante.

Camera Wilson a fost construită pentru prima dată de fizicianul englez C.T.R. Wilson și servește pentru a pune în evidență traiectoriile particulelor ionizante. Principiul camerei Wilson constă în următoarele: se știe că, dacă într-un spațiu saturat de vapori se află fire de praf sau ioni, aceștia constituie centre de condensare a vaporilor. În lipsa lor, vaporii, în stare de suprasaturare, nu se condensează. Dacă printr-un astfel de spațiu trece o particulă α, ea poate genera cîteva zeci de mii de perechi de ioni pe 1 cm de parcurs (20 000—40 000), care constituie tot atîtea centre de condensare. Toate aceste picături fine formează o dîră de ceață care marchează drumul particulei. Vaporii care ocupă spațiul respectiv pot fi aduși în stare de suprasaturație printr-o destindere bruscă, adiabatică. Pe acest principiu funcționează *camera Wilson*, numită încă și *camera cu ceață*.

Figura 129, reprezintă construcția inițială a camerei Wilson. Camera este formată dintr-un cilindru de sticlă cu diametrul de 15—16 cm și cîțiva centimetri înălțime. Fundul *B* este mobil și căptușit cu postav negru. Spațiul *D* este umplut cu aer saturat cu vapori de apă și alcool. Pentru

înlăturarea ionilor care existau în cameră înaintea destinderii, se aplică o diferență de potențial de la bateria E. Pentru producerea destinderii adiabatice, spațiul T, din partea inferioară a camerei, se pune în legătură cu rezervorul vidat G. Fundul B coboară brusc, iar aerul saturat cu vapori își mărește volumul și se răcește. Vaporii devin suprasaturanți. Dacă, imediat după detentă, una sau mai multe

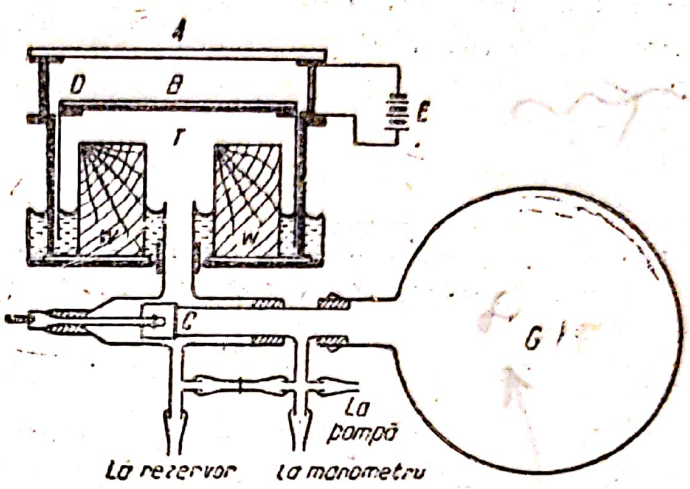


Fig. 129. Camera Wilson.

particule ionizante trec prin cameră, traiectoriile lor vor deveni vizibile sub forma unor dîre fine de ceață (fig. 130). Aceste dîre devin și mai vizibile dacă se ilumineză lateral camera, cu un aparat de proiecție.

117. **Transformările elementelor radioactive. Legea dezintegrării radioactive.** Radioactivitatea manifestată de elemente, ca: uraniul, toriul, poloniul, radiul etc. a preocupat pe fizicieni chiar de la descoperirea acestui fenomen natural. S-a constatat că radioactivitatea se datorește instabilității nucleelor unor anumite elemente. Prin analiza chimică spectrală s-a constatat că nucleul care a suferit o dezintegrare devine nucleul unui element nou, diferit de cel inițial. Aceste date experimentale pot fi prevăzute ușor prin raționamente teoretice. Se știe că numărul atomic este și numărul de ordine al elementului respectiv. Numărul atomic arată atît numărul protonilor din nucleu cît și locul ocupat de element în acest tablou. Dacă un nucleu a emis o particulă α, (cu masa atomică egală cu

Fig. 130. Urme de particule.

4 unități[1]), masa lui s-a micșorat cu 4 unități atomice și a pierdut două sarcini pozitive. Rezultă că elementul nou format va avea masa mai mică cu 4 unități atomice și numărul atomic cu 2 unități mai mic decît elementul inițial. Înseamnă că acest element va fi așezat cu două căsuțe mai la stînga, în tabloul periodic și va avea proprietățile chimice corespunzătoare elementului situat în tabelul lui Mendeleev în căsuța respectivă. Dacă nucleul emite o particulă β, sarcina lui pozitivă crește cu o unitate, iar masa lui rămîne neschimbată. Numărul atomic al noului element fiind deci mai mare cu o unitate decît al elementului inițial, el trece în tabloul periodic al elementelor, în grupa din dreapta, corespunzătoare noilor sale proprietăți chimice. Exemplele de mai sus exprimă o lege, confirmată de experiență, cunoscută sub numele de „legea deplasării", stabilită de Soddy și Fajans. Prin experiențele efectuate s-a constatat că produsele de dezintegrare sînt și ele radioactive, iar transformarea nu are loc deodată în toate nucleele. De exemplu, radiul, prin emisiunea unei particule α, după un interval de timp se transformă într-un gaz radioactiv, radonul. Acesta se poate constata închizînd ermetic, într-o eprubetă, o cantitate foarte mică de radiu. După un interval oarecare de timp vom găsi, în eprubetă, heliu și radon. Radonul se dezintegrează mai departe în substanțe radioactive noi, produsul final, neradioactiv, fiind plumbul (Pb), care nu se mai dezintegrează.

Studiindu-se modul de dezintegrare a substanțelor radioactive naturale, s-a descoperit legea dezintegrării substanțelor radioactive, care se enunță astfel: *numărul de atomi care se dezintegrează într-un anumit interval de timp reprezintă totdeauna aceeași fracțiune din numărul total de atomi aflați la începutul observațiilor.*

Legea dezintegrării radioactive poate fi exprimată printr-o ecuație exponențială de forma:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \qquad (44)$$

unde N_0 reprezintă numărul nucleelor existente la momentul inițial (arbitrar ales), N fiind numărul nucleelor rămase

[1] În fizica nucleară, pentru masa atomică se folosește o unitate specială *numită unitate atomică de masă*, în scara fizică (definiția ei va fi dată la pag. 229). Simbolic se notează amu.

nedezintegrate după trecerea unui interval de timp t, λ este constanta radioactivă, caracteristică fiecărui element[1] și e este baza logaritmilor naturali. Inversul lui λ, adică $\frac{1}{\lambda} = \tau$ (tau), se numește viața medie a atomilor radioactivi și reprezintă intervalul de timp în decursul căruia numărul de nuclee N_0 scade în medie la $\frac{N^0}{e}$. Cu ajutorul legii de mai sus este ușor să se găsească după cît timp se dezintegrează jumătate din atomii substanței considerate. Astfel s-a găsit că pentru uraniu acest interval de timp este de $4{,}56 \cdot 10^9$ ani, pentru radiu este de 1 590 ani etc. *Intervalul de timp în decursul căruia se dezintegrează jumătate din numărul nucleelor radioactive ale elementului respectiv se numește timp de înjumătățire* ($T_{\frac{1}{2}}$).

Timpul de înjumătățire are o valoare constantă dată de relația $T_{\frac{1}{2}} = 0{,}69315 \cdot \lambda^{-1}$, obținută prin logaritmarea expresiei (44). Pentru o anumită substanță radioactivă, timpul de înjumătățire nu depinde de cantitatea de substanță sau de condițiile exterioare.

118. **Serii radioactive.** Deoarece produsele de dezintegrare sînt în general tot radioactive, diferitele substanțe radioactive au putut fi grupate în *familii radioactive* sau *serii radioactive*. Astăzi se cunosc trei familii radioactive naturale, care au ca origine: uraniul, thoriul, actiniul. (De fapt seria actiniului are ca origine un izotop al uraniului ^{235}U actinouraniul). La aceste familii radioactive se mai adaugă familia radioactivă a neptuniului, obținut pe cale artificială. În schema de mai jos este reprezentată familia uraniului. Elementele sînt notate prin simbolul lor, avînd notat în partea superioară numărul de masă atomică, jos numărul atomic, iar în dreptul săgeților, radiațiile emise (α, β, γ).

119. **Izotopii.** Știm că atomii diferitelor elemente se caracterizează printr-un număr atomic care arată cîți protoni sînt în nucleu și ce loc ocupă elementul respectiv în tabelul periodic al elementelor. Un atom se mai caracterizează încă prin *numărul de masă* (care se va defini în para-

[1] λ reprezintă probabilitatea de dezintegrare a unui nucleu raportată la unitatea de timp. Are dimensiunea T^{-1}.

graful următor). Valoarea lui este egală cu partea întreagă a numărului care reprezintă masa atomică în tabelul periodic al lui Mendeleev. Mai tîrziu s-a stabilit experimental că nu toți atomii unui element radioactiv au aceeași masă. În această situație este uraniul, la care se pot găsi atomi cu numărul de masă 234, 235, 238. Acești atomi cu mase atomice diferite, dar avînd același număr atomic, deci aceleași proprietăți chimice, au fost numiți *izotopi*. Ei ocupă același loc în tabloul lui Mendeleev. Cercetările întreprinse de fizicieni au arătat că nu numai elementele radioactive au izotopi, ci și elementele stabile, neradioactive. Așa, de exemplu, s-a găsit că hidrogenul are trei izotopi: hidrogenul ușor ($^{1}_{1}H$) cu numărul de masă atomică 1; hidrogenul greu sau deuteriul ($^{2}_{1}H$ sau $^{2}_{1}D$), utilizat în fizica nucleară avînd numărul de masă 2; tritiul ($^{3}_{1}H$ sau $^{3}_{1}T$), cu numărul de masă atomică 3, de asemenea utilizat în fizica nucleară[1]. Neonul are 2 izotopi: $^{20}_{10}Ne$ și $^{22}_{10}Ne$ etc.

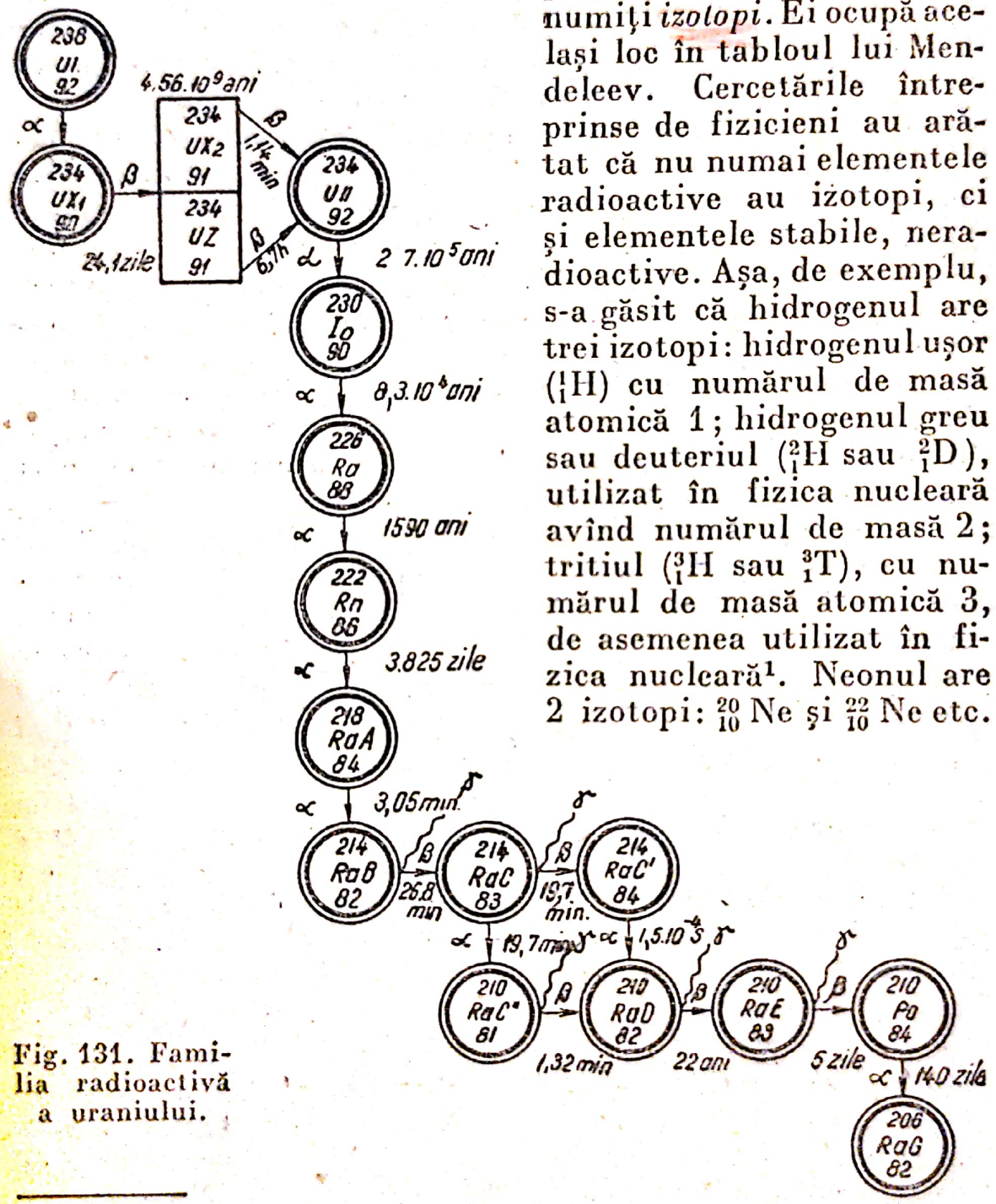


Fig. 131. Familia radioactivă a uraniului.

[1] Un nucleu atomic se notează $^{A}_{Z}X$, unde X reprezintă simbolul elementului respectiv.

Izotopii neonului (primii izotopi neradioactivi) au fost descoperiți de J.J. Thomson (1856—1940) cu ajutorul unui aparat numit *spectrograful de masă*.

120. **Structura nucleului atomic.** O dată stabilit că atomul este constituit dintr-un înveliș electronic și nucleu, s-a pus problema structurii nucleului. Descoperirea radioactivității a luminat calea cercetărilor nucleului atomic arătînd structura complexă a acestuia. Primul pas în cercetarea structurii nucleului l-a făcut în 1919 vestitul fizician englez Ernest Rutherford, supunînd nuclee atomice la un bombardament cu particule α. Experiențe asemănătoare au fost făcute în număr mare și de către alți cercetători, ajungîndu-se la concluzia că în structura nucleului se găsesc *protoni*, fiecare proton avînd o sarcină electrică pozitivă (+e) egală cu sarcina unui electron (în valoare absolută). Prin descoperirea protonilor s-a pus problema dacă în nucleu nu se mai găsesc și alte particule. Admițînd că protonii se supun legii lui Coulomb, ar însemna că, dacă nucleul, de dimensiuni așa de mici (10^{-12}— 10^{-13} cm), ar fi format numai din protoni, el nu ar putea exista. Înseamnă că pe lîngă protoni trebuie să mai existe și alte particule.

Al doilea pas important în fizica nucleului a fost făcut prin descoperirea neutronului (Chadwick) și a faptului că neutronul intră în structura nucleului (D.D. Ivanenko) alături de protoni. Protonii și neutronii se numesc nucleoni. (S-a găsit că neutronul are masa aproximativ egală cu a protonului, fără a avea sarcină electrică. Protonul se notează ${}_{1}^{1}\mathrm{p}$, iar neutronul ${}_{0}^{1}\mathrm{n}$.)

Numărul total al protonilor și neutronilor dintr-un atom se numește număr de masă. Dacă notăm numărul de masă cu A, numărul atomic cu Z, atunci numărul neutronilor este egal cu $A-Z$. De exemplu, nucleul de carbon cu numărul atomic 6 și numărul de masă 12 (${}_{6}^{12}\mathrm{C}$), conține $12-6=6$ neutroni, iar nucleul de sodiu ${}_{11}^{23}\mathrm{Na}$ conține 11 protoni și 12 neutroni. De observat că, pe cînd numărul de protoni din nucleu determină proprietățile chimice ale elementului respectiv, numărul de neutroni mărește sau micșorează masa atomică, ceea ce explică existența izotopilor despre care am vorbit. De exemplu, atomul de hidrogen ușor (${}_{1}^{1}\mathrm{H}$) este format dintr-un electron și un proton, pe cînd atomul de hidrogen greu (${}_{1}^{2}\mathrm{D}$) are nucleul format dintr-un proton și un neu-

tron. Dacă nucleul este format din protoni și neutroni, cum se poate totuși produce emisiunea de electroni de către nucleu (radiațiile beta)? Fizica modernă arată că protonii și neutronii au proprietatea de a se transforma unii în alții. În urma acestor transformări apar particule noi. Dacă neutronul se transformă în proton cu sarcină pozitivă $+1$ e, atunci din această transformare ia naștere un electron cu sarcina -1 e plus un neutrino. Dacă însă protonul se transformă în neutron, atunci rezultă un *electron pozitiv* (anti-electron) sau *pozitron* ($_{+1}^{0}e$), adică o particulă elementară pozitivă, avînd masa și sarcina electronului, care s-a desprins din proton. Aceste transformări respectă legea transformării și conservării energiei. De asemenea trebuie menționat faptul că s-au observat și s-au realizat experimental și transformarea reciprocă a particulelor elementare și a radiațiilor. Spre exemplu, un foton γ se poate transforma în cîmpul unui nucleu într-o pereche de particule $_{+1}^{0}e$ și $_{-1}^{0}e$. De asemenea, o pereche $_{+1}^{0}e$ și $_{-1}^{0}e$ se poate transforma în doi fotoni γ. Aceste fenomene sînt deci o dovadă a naturii materiale a radiațiilor (a cîmpurilor electromagnetice).

121. **Mijloace de acțiune asupra nucleului. Acceleratori de particule.** Pentru a acționa asupra nucleelor atomice se folosesc diferite mijloace, ca: bombardarea cu particule α, protoni, deutroni (nuclee de deuteriu etc.). Particulele folosite pentru bombardarea nucleului trebuie să aibă viteze suficient de mari pentru a putea pătrunde în nucleu. Este deci necesar să imprimăm acestor particule energii foarte mari, de cîteva milioane de electronvolți.

Pentru a imprima acestor particule astfel de energii s-au construit instalații speciale, cunoscute sub numele de *acceleratori*. Astăzi, fizica nucleară dispune de acceleratori de protoni, electroni, neutroni etc. Cu toată diversitatea construcției lor, toți acceleratorii actuali se împart în două mari grupe, după forma traiectoriei particulelor în timpul accelerării lor:

a) acceleratori liniari;

b) acceleratori ciclici.

În acest paragraf se va descrie cel mai simplu și totodată cel mai vechi accelerator ciclic:

Scanned with OKEN Scanner

Ciclotronul. Principiul său de funcționare este următorul: dacă o particulă electrizată, de sarcină e, se mișcă cu viteza v într-un cîmp magnetic constant de intensitate H, perpendicular pe direcția de mișcare a particulei, atunci, asupra particulei se va exercita, din partea cîmpului, o forță lorentziană F. Direcția acestei forțe este perpendiculară pe planul format de vectorii v și H, iar sensul este dat de regula mîinii stîngi. Forța F, fiind perpendiculară pe vectorul vitezei v, silește particula să se miște după o traiectorie circulară. Raza acestei traiectorii va fi cu atît mai mare cu cît este mai mare viteza particulei. Să presupunem o cutie metalică de forma unui cilindru gol,

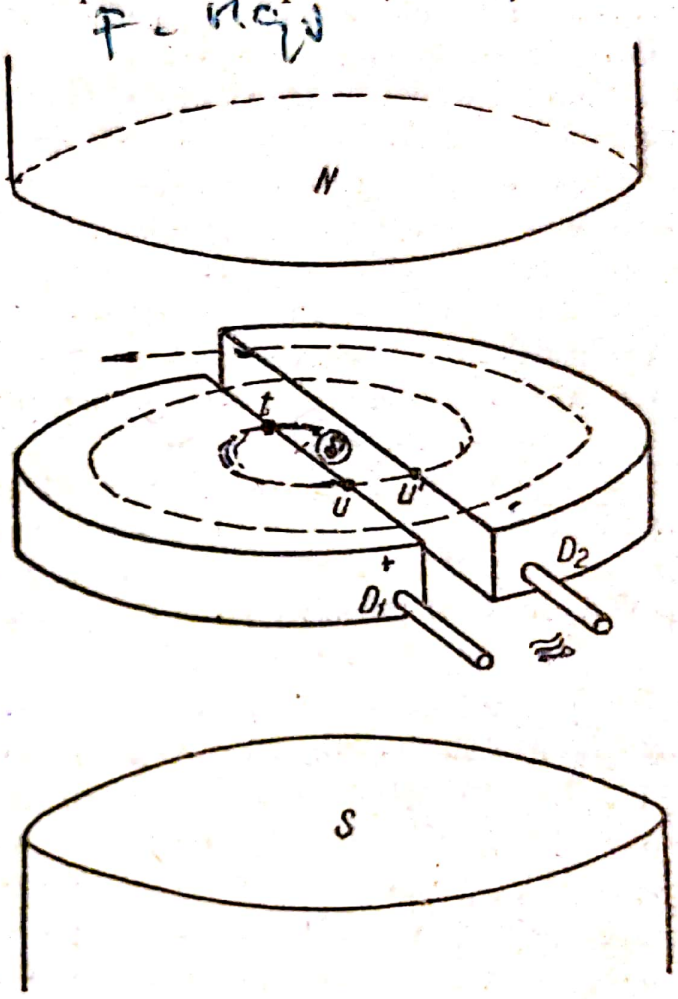


Fig. 132. Schema de principiu a ciclotronului.

tăiată în două (fig. 132) și așezată într-un cîmp magnetic perpendicular pe planul ei, creat de un electromagnet puternic N și S, cu polii cilindrici. Celor două jumătăți (D_1 și D_2) ale cutiei, numite *duanți* sau *deuri*, li se aplică o tensiune alternativă de la un generator de înaltă frecvență. În centrul cutiei, în intervalul dintre cei doi duanți, se află sursa de particule S. Să considerăm că la un moment dat, cînd duantul D_1 este negativ și D_2 este pozitiv, sursa S emite o particulă pozitivă. Această particulă va fi atrasă de duantul D_1, pătrunzînd în interiorul său, unde nu există decît cîmpul magnetic care o face să se miște după o traiectorie circulară, ajungînd din punctul t în punctul u. Între timp, datorită generatorului, polaritatea celor doi duanți s-a schimbat, astfel că, în momentul cînd particula

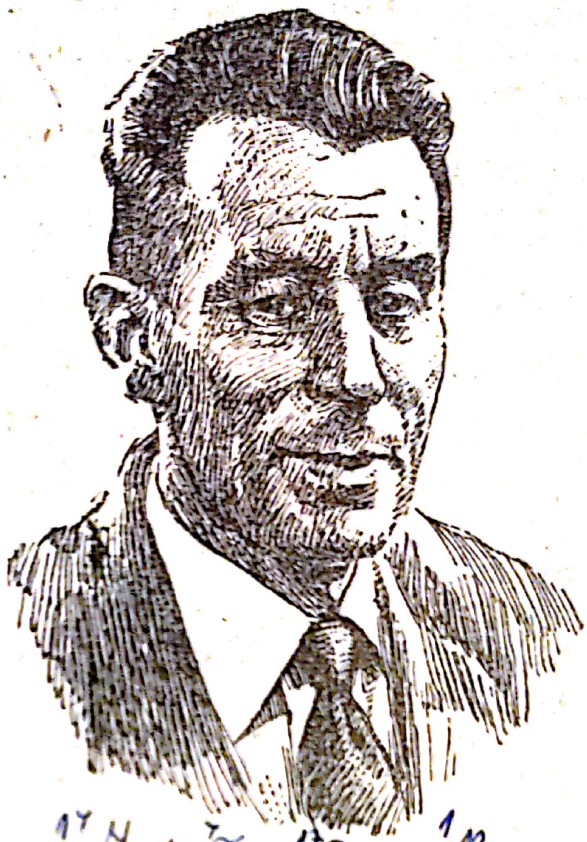
iese din duantul D_1, suferă o accelerare în spațiul (u u') dintre D_1 și D_2. Intrînd în duantul D_2 cu o viteză mărită, datorită cîmpului magnetic, particula se va mișca după o traiectorie circulară de rază mai mare ș.a.m.d., traiectoria descrisă fiind o spirală. Ciclotronul este deci un accelerator ciclic, în care particulele sînt accelerate cu ajutorul unui cîmp electric de înaltă frecvență. Sub influența cîmpului magnetic constant, aceste particule descriu traiectorii circulare. Accelerarea are loc în spațiul dintre duanți, iar polaritatea se schimbă, în timp ce particula se mișcă în interiorul unui duant, unde există numai cîmpul magnetic. Pentru ca particula să nu se ciocnească de moleculele de aer, cei doi duanți sînt introduși într-o cameră cilindrică, așezată între polii electromagnetului, în care se face un vid înaintat. Cînd raza traiectoriei ajunge la o anumită valoare, particulele accelerate sînt deviate spre exterior de un electrod auxiliar. Ciclotronul servește pentru accelerarea particulelor pozitive; pentru electroni se utilizează acceleratorul ciclic numit *betatron*. Astfel de acceleratori pot accelera particule cu energie pînă la 500 MeV.

Un accelerator de particule pozitive mai perfecționat decît ciclotronul este *sincrociclotronul*, care poate accelera particule (deutoni) cu energii pînă la 1 000 MeV. Un accelerator de electroni care funcționează pe principiul combinat al ciclotronului și betatronului, construit de fizicianul sovietic Veksler, este *sincrotronul*, cu care s-au putut accelera electroni cu energii de 500 MeV și s-a ajuns chiar la peste 1 000 MeV. Pentru protoni s-a construit sincrotronul de protoni *(sincrofazotronul)*.

Generatorii ciclici prezintă dezavantajul că necesită electromagneți uriași, au consum mare de energie, iar costul lor crește proporțional cu pătratul și chiar cu cubul energiei.

Pentru a ne da seama de dimensiunile acceleratorilor ciclici actuali se menționează că sincrofazotronul Institutului Unificat de Cercetări Nucleare de la Dubna (U.R.S.S.), de 10 000 MeV, are un electromagnet inelar cu diametrul de 60 m și cîntărește nu mai puțin de 36 000 tone.

La noi în țară a fost instalat, în 1958, la Institutul de Fizică al Academiei R.P.R. (I.F.A.), un ciclotron care imprimă deutonilor o energie de 12,5 MeV, iar particulelor α, o energie de 25 MeV. Din august 1959 a intrat în funcțiune primul betatron românesc, construit în întregime în țară, care poate accelera electroni pînă la 15 MeV și se prevede



ca această energie să fie sporită la 30 MeV. Acest betatron va fi folosit atît în cercetări de fizică nucleară cît și în rezolvarea unor probleme complexe ale industriei.

122. **Radioactivitatea (dezintegrarea) artificială.** Dezintegrarea naturală a elementelor radioactive a arătat posibilitatea transformării elementelor.

Experiența făcută în 1919 de E. Rutherford a dovedit că se pot transforma elementele și pe cale artificială. Bombardînd azot cu particule α, Rutherford a reușit să transforme, pentru prima dată, un element în altul, obținînd un izotop al oxigenului.

$$^{14}_{7}N + ^{4}_{2}\alpha = ^{17}_{8}O + ^{1}_{1}p$$

Continuînd să cerceteze acțiunile particulelor α asupra nucleelor atomice, savanții francezi Frédéric și Irène Joliot-Curie[1] au descoperit că se pot crea elemente radioactive pe cale artificială. Ei au bombardat aluminiul cu particule α, observînd fenomenul în camera Wilson, și au constatat că, în urma bombardării, apăreau niște traiectorii subțiri asemănătoare traiectoriilor electronilor. Aplicînd un cîmp magnetic, au observat însă că aceste traiectorii au deviat în sensul traiectoriilor unor sarcini pozitive. De aici s-a tras concluzia că particulele emise erau pozitroni. Încetînd acțiunea de bombardare a aluminiului, s-a constatat că emisiunea de pozitroni continuă, iar intensitatea acestei

[1] *Frédéric Joliot-Curie* (1900—1958), eminent fizician francez, cunoscut prin lucrările efectuate împreună cu soția sa, Irène Joliot-Curie, în domeniul fizicii nucleare. Militant progresist de vază, a fost președinte al Consiliului Mondial al Păcii, laureat al premiului Lenin „Pentru întărirea păcii între popoare". A fost membru al Academiei de Științe din Paris și laureat al premiului Nobel.

emisiuni descreştea cu timpul după o lege exponenţială. Fenomenul descoperit semăna cu radioactivitatea naturală, cu deosebirea că în acest caz erau emişi pozitroni. Acestui fenomen i s-a dat denumirea de *radioactivitate artificială* sau *dezintegrare artificială*.

Iată şi relaţia[1] de dezintegrare:

$$^{27}_{13}\mathrm{Al} + ^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow ^{30}_{15}\mathrm{P} + ^{1}_{0}\mathrm{n}; \quad ^{30}_{15}\mathrm{P} \rightarrow ^{30}_{14}\mathrm{Si} + ^{0}_{+1}\mathrm{e}.$$

Din această relaţie se observă că prin bombardarea aluminului ($^{27}_{13}$Al) cu particule α ($^{4}_{2}$He) se obţine mai întîi fosfor radioactiv ($^{30}_{15}$P) cu eliminarea unui neutron ($^{1}_{0}$n). Fosforul radioactiv, fiind instabil, elimină din nucleul său un pozitron ($^{0}_{+1}$e) şi trece într-un izotop al siliciului ($^{30}_{14}$Si). Înseamnă că în nucleul unui atom de fosfor radioactiv, un proton trece într-un neutron cu emisiunea unui pozitron. Cercetările au arătat că emisiunea are loc numai cînd nucleul radioactiv are un surplus de energie de minimum 1 MeV faţă de nucleul final. În cazul cînd această energie este mai mică, trecerea protonului în neutron se face prin smulgerea unui electron din nivelul K (cel mai apropiat de nucleu). Acest fenomen poartă numele de captură K şi este însoţit de emisiunea unei radiaţii X.

Experienţa fizicienilor Frédéric şi Irène Joliot-Curie a demonstrat că pe lîngă elementele descoperite de Becquerel şi soţii Marie şi Pierre-Curie, se pot obţine, pe cale artificială, elemente radioactive care să aibă aceleaşi proprietăţi cu ale elementelor radioactive naturale. Descoperirea radioactivităţii artificiale, de către soţii Joliot-Curie, a însemnat una dintre cele mai importante etape în dezvoltarea ştiinţelor despre natură şi a dus la stăpînirea energiei nucleare de către om.

Bombardînd aluminiu cu particule α s-a obţinut fosfor radioactiv; din magneziu s-a obţinut siliciu radioactiv şi prin bombardarea borului cu aceleaşi particule s-a obţinut azot radioactiv. În urma acestor realizări, fizicienii din diferite ţări au început să studieze profund obţinerea de noi elemente radioactive artificiale, găsindu-se că se pot folosi

[1] Într-o ecuaţie nucleară suma numerelor atomice ale termenilor din partea stîngă a ecuaţiei este egală cu suma numerelor atomice din partea dreaptă. Acelaşi lucru este valabil şi pentru numerele de masă. (Se respectă legea conservării masei şi sarcinilor electrice.)

Scanned with OKEN Scanner

și protoni și deutoni ($^{2}_{1}D$) pentru bombardament. Între aceștia, fizicianul italian Fermi (1901—1954) a găsit că metoda cea mai eficace pentru obținerea elementelor radioactive artificiale este bombardarea cu neutroni, deoarece neutronii, neavînd sarcină electrică, pătrund cel mai ușor în nucleu. Iată, spre exemplu, o astfel de reacție nucleară:

$$^{10}_{5}B + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{7}_{3}Li + ^{4}_{2}He;$$

bor + neutron → litiu + heliu (particulă α).

În felul acesta au fost bombardate cu neutroni toate elementele din sistemul periodic al lui Méndeleev. Astăzi se cunosc pînă la 300 de elemente radioactive artificiale, dintre care unele cu numerele de ordine mai mari ca 92. Aceste elemente se numesc transuranice (dincolo de uraniu). Substanțele radioactive artificiale au căpătat denumiri ca și substanțele naturale, așezîndu-se înaintea numelui substanței naturale „radio". De exemplu: radiofosfor, radioazot etc.

123. **Izotopi radioactivi.** În paragraful 119 s-au menționat cîțiva izotopi radioactivi, precum și cîțiva izotopi neradioactivi. O dată cu descoperirea radioactivității artificiale, numărul izotopilor radioactivi s-a mărit, la numărul izotopilor radioactivi naturali adăugîndu-se izotopii radioactivi artificiali. De exemplu: radiofosforul, radioazotul, radiosodiul, radiosiliciul, radiocarbonul, radiocobaltul, radiostrontțiul etc. De remarcat că, în stare naturală, fosforul, sodiul, siliciul etc. nu sînt radioactive.

Aplicații. Izotopii radioactivi artificiali, alături de cei naturali, prezintă o mare importanță, fiind întrebuințați în cele mai diferite domenii de activitate: industrie, medicină, biologie etc. În cele ce urmează vom studia cîteva dintre aplicațiile principale ale izotopilor radioactivi.

În industrie, izotopii radioactivi au permis să se adune, în termen scurt, datele necesare pentru obținerea unor aliaje care să reziste temperaturilor mari și acțiunilor mecanice puternice. De asemenea au permis să se obțină date cu privire la uzura diferitelor piese ale unei mașini supuse frecării și să se studieze cinetica diferitelor procese metalurgice.

Scanned with OKEN Scanner

Spre exemplu, pentru a se putea măsura gradul de uzură a segmenților de piston ai motoarelor, ei se iradiază cu neutroni înainte de a fi montați, astfel încît se formează puțin fier radioactiv. În timpul funcționării, particulele, desprinse prin frecare, ajung în uleiul de ungere care devine mai mult sau mai puțin radioactiv. Măsurarea radioactivității uleiului de ungere cu ajutorul unui contor de radiații dă indicații cu privire la gradul de uzură a piesei respective. Pentru alte materiale se folosesc alte metode de determinare a gradului de uzură. Tot în industrie, radiațiile γ, emise de radioizotopi, sînt folosite în defectoscopia pieselor turnate, în locul razelor X, cît și pentru diferite măsurători: de grosimi, densități ș.a. De asemenea, radiațiile γ mai sînt folosite în industria cauciucului, a maselor plastice etc. pentru a se obține produse de calitate superioară. Izotopii radioactivi, introduși în căptușeala furnalelor, ajută să se determine cînd și în ce loc s-a distrus căptușeala refractară a furnalului.

În industria petrolieră, izotopii radioactivi sînt folosiți la carotajul radioactiv (determinarea structurii și compoziției subsolurilor). În acest scop se introduce în sondă o substanță radioactivă și un contor de radiații astfel montat încît la el pot ajunge numai radiațiile radioactive reflectate de pereții puțului de sondă. Aceste radiații, fiind reflectate diferit de rocile ce alcătuiesc stratul cercetat, vor ajunge în număr mai mare sau mai mic la contor. Pe baza indicațiilor contorului, aparatele de la suprafața pămîntului înscriu „profilul geologic" al puțului de sondă.

În figura 133 sînt reprezentate cîteva aplicații industriale ale radioizotopilor.

În geologie, izotopii radioactivi naturali au permis determinarea vîrstei rocilor, cercetarea diferitelor minereuri ș.a.

În medicină, radioizotopii sînt folosiți pentru detectarea și tratarea tumorilor canceroase și pentru studierea mijloacelor de vindecare a unor boli, ca: hipertensiunea (presiunea mărită a sîngelui), hipertiroidia, policitemia etc.

124. **Atomii marcați.** Uneori este necesar de a *marca* (a însemna) atomi izolați, spre a se putea face posibilă urmărirea transformărilor complexe ale moleculelor care conțin acești atomi, în reacțiile chimice și procesele biologice ale

Scanned with OKEN Scanner

schimbului de substanțe. Această posibilitate a fost realizată prin descoperirea radioactivității artificiale, care a permis să se obțină astfel de atomi, cunoscuți sub numele de „atomi marcați". Atomii marcați sînt atomi radioactivi proveniți din radioizotopi, care, prin radiațiile pe care le

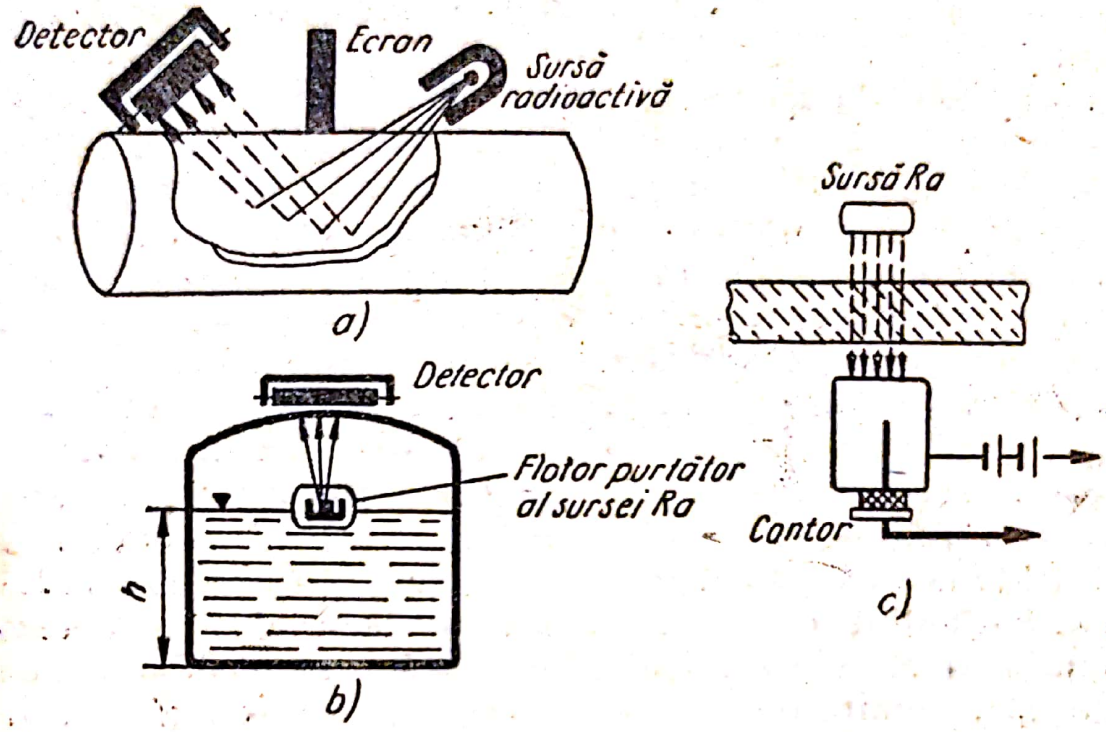


Fig. 133. Unele aplicații ale izotopilor radioactivi:
a — controlul stării conductelor care transportă substanțe corosive; *b* — indicarea nivelului într-un rezervor închis; *c* — măsurarea grosimii pieselor.

emit, pot fi detectați cu diferite aparate. Dacă se urmărește, spre exemplu, viteza de absorbire în stomac a sărurilor de sodiu, i se dă persoanei cu care se experimentează să înghită o sare de sodiu în care s-a pus o cantitate neînsemnată de radiosodiu. Cu ajutorul unui aparat se înregistrează apoi această viteză. Folosind atomii marcați, medicii pot determina cu ușurință locul unde se află o tumoare internă. Atomii marcați permit să se studieze metabolismul normal sau patologic și să se găsească metode tot mai bune de vindecare a diferitelor boli.

Cu ajutorul carbonului radioactiv, savanții sovietici au descoperit că rădăcinile plantelor consumă acid carbonic și sărurile acestuia din sol, transmițîndu-l în frunze, unde are loc asimilarea. În felul acesta s-a descoperit un nou izvor suplimentar de nutriție cu carbon și o funcție nouă a

MAR 1965

Scanned with OKEN Scanner

rădăcinilor, despre care se credea că aparține numai părților verzi ale plantei. De asemenea, s-a constatat că și frunzele își pot asuma funcția obișnuită a rădăcinilor, realizînd nutriția minerală a plantelor.

ENERGIA NUCLEARĂ

125. **Energia nucleului atomic.** De la studiul structurii nucleului atomic știm că în componența nucleului intră protoni și neutroni, numărul neutronilor fiind egal cu diferența dintre numărul de masă și numărul atomic. Mai știm că diametrul nucleului este de ordinul 10^{-13} cm — 10^{-12} cm, ceea ce corespunde unui volum maxim de ordinul 10^{-36} cm^3. În acest volum minuscul trebuie să stea îngrămădiți nucleoni (neutronii și protonii) care, în cazul ^{238}U, ating numărul de 238 nucleoni (92 protoni și 146 neutroni). Aflîndu-se într-un spațiu atît de mic, protonii trebuie să suporte forțe de respingere enorme, conform legii lui Coulomb. Cu toate acestea, nucleul își păstrează existența. Experiențele au arătat că la distanțe de ordinul acelora la care se află între ele particulele nucleului apar și forțe de atracție, numite *forțe nucleare*, care țin strîns legate între ele aceste particule, asigurînd stabilitatea nucleului. Aceste forțe de atracție predomină asupra celor de respingere. Ele nu sînt nici forțe electrostatice și nici forțe de gravitație. Savanții sovietici I. Tamm și D. Ivanenko au emis ipoteza că aceste forțe sînt forțe de schimb, care se datoresc transformării reciproce foarte rapide a protonilor și neutronilor, schimbînd între ei perechi de particule electron — neutrino. Ulterior, fizicianul japonez Yukawa a demonstrat teoretic că particulele de schimb sînt mezoni π^+ și π^-, particule elementare instabile cu masa de 273 ori mai mare decît masa electronului. Astăzi se admite această ipoteză și se consideră că forțele de legătură se manifestă între nucleonii de același fel: proton — proton sau neutron — neutron, prin schimbul de mezoni π neutri (mezoni π°). Caracteristica fundamentală a acestor forțe de legătură este că acționează numai pînă la distanța razei nucleare, iar fiecare nucleu interacționează numai cu un număr limitat de particule; se spune că aceste forțe se saturează. Energia necesară pentru învingerea forțelor de legătură dintre particulele nucleului spre a-l putea desface în părțile lui com-

ponente se numește *energie de legătură*. Aceeași energie se degajează la procesul invers de formare a nucleului din particulele nucleare componente. Fiecărei particule nucleare îi revine o anumită energie de legătură. După cum arată calculele, valoarea acestei energii este de 8,5 MeV pe nucleon, pentru aproape toate nucleele. Excepție fac nucleele grele, cum este uraniul, și cele ușoare, de la începutul tabelului lui Mendeleev, cum este heliul, la care această energie se micșorează la 7 MeV pe nucleon.

Cunoscînd energia de legătură a unei particule nucleare, este ușor să calculăm energia de legătură a nucleelor diferitelor elemente. De exemplu, energia de legătură a nucleului de heliu, care are doi protoni și doi neutroni, adică patru nucleoni, este egală cu 4×7 MeV $= 28$ MeV etc. Din acest calcul ne dăm seama cu ușurință ce energie uriașă este necesară pentru a sparge un nucleu sau ce energie enormă s-ar degaja prin unirea acestor particule spre a forma un nucleu (sinteza nucleului).

126. **Defectul de masă.** Să ne propunem un studiu simplu al nucleului de heliu. Știm că în constituția lui intră doi protoni și doi neutroni. Cele mai noi determinări experimentale ale maselor acestor particule dau următoarele valori: *a*) masa protonului $(m_p) = 1{,}00\ 7597$ unități atomice de masă în scara fizică (amu); *b*) masa neutronului $(m_n) = 1{,}008987$ unități atomice de masă în scara fizică; *c*) masa electronului $(m_e) = 0{,}000\ 549$ unități atomice în scara fizică; *d*) masa atomului de heliu $= 4{,}00\ 387$ unități atomice de masă în scara fizică.

Unitatea atomică de masă în scara fizică amu — este egală cu 1/16 din masa izotopului, ^{16}O sau $1{,}65979 \cdot 10^{-27}$ kg.

Să calculăm masa nucleului de heliu, prin însumarea maselor nucleonilor componenți. Obținem: $2(1{,}007597 + 1{,}008987)$ amu $= 4{,}033168$ amu. Cunoscînd masa experimentală a atomului de heliu din tabele și a electronului și ținînd seama că în constituția atomului de heliu intră 2 electroni, putem obține valoarea experimentală a masei nucleului: $4{,}00387$ amu $- 2 \cdot 0{,}000549$ amu $= 4{,}002772$ amu. Dacă comparăm această valoare experimentală cu cea calculată prin însumarea maselor nucleonilor (mai mare), obținem o diferență de masă $\Delta m = 4{,}033168$ amu $- 4{,}002772$ amu $= 0{,}030396$ amu $\approx 0{,}03040$ amu.

Scanned with OKEN Scanner

La rezultate asemănătoare ajungem pentru orice alt element. De aici tragem concluzia că: *masa nucleului oricărui atom este mai mică decît suma maselor nucleonilor componenți*. Această diferență de masă a fost numită *defect de masă*. Pentru nucleul atomic al oricărui element este caracteristic un anumit defect de masă, a cărui valoare se poate afla conducîndu-ne după exemplul de mai sus.

Care este cauza acestui defect de masă? Știm că starea de echilibru a materiei este aceea căreia îi corespunde o energie minimă. Nucleonii liberi posedă energii mult mai mari decît cei legați într-un nucleu atomic. Rezultă că, în condiții normale, nu găsim nucleoni liberi. Cauza defectului de masă o constituie faptul că la formarea nucleului atomic se degajă, în mediul exterior, o cantitate de energie, cu apariția de fotoni γ, corespunzătoare diferenței dintre masa nucleonilor liberi și legați în nucleu, Δ m. Această energie reprezintă tocmai energia de legătură a nucleonilor. Spre exemplu, la formarea nucleului de heliu s-a văzut mai înainte că apare un defect de masă $\Delta m = 0{,}03040$ amu. Ținînd seama de relația lui Einstein, tragem concluzia că la formarea heliului trebuie să se degaje o energie egală cu energia de legătură a nucleonilor săi, și anume: $\Delta E = \Delta mc^2$. În fizica nucleară se obișnuiește ca energia de legătură să se exprime în MeV, cu ajutorul relației: 1 amu = 931 MeV, stabilită pe baza ecuației lui Einstein. În exemplul de mai sus: $\Delta E = 0{,}0304$ amu. 931 MeV/amu = = 28,3 MeV. Această energie se degajă integral numai la formarea nucleului. Să vedem un alt exemplu. Fie reacția următoare: ${}^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$. Înainte de reacție, suma maselor este 8,02634 amu și după reacție este de 8,00780 amu. Rezultă un defect de masă egal cu 0,01854 amu, căruia îi corespunde o energie degajată de $\approx$ 17 MeV.

În toate cazurile este valabilă legea conservării și transformării energiei. Această lege se menține și în procesele în care apar fotoni, dacă se ține seama de masa și energia atribuită lor.

127. **Eliberarea energiei nucleare.** Din raționamentele și calculele făcute în paragraful 125 ne-am convins că la formarea nucleului intervin cantități enorme de energie.

Pentru a se elibera această energie se poate proceda pe două căi:

a) prin transformarea nucleelor atomice ale unor elemente în alte nuclee, în urma interacțiunii lor cu particule rapide, cînd reacția are loc cu defect de masă (nucleele obținute au energia de legătură pe nucleon mai mare decît nucleele inițiale);

b) prin sinteza nucleului din particule nucleare.

După prima metodă se produce o dezintegrare a nucleului prin bombardarea lui cu particule rapide. Iată, spre exemplu, prima reacție realizată cu protoni accelerați artificial. Această reacție constă în dezintegrarea litiului în două particule α sub acțiunea unui proton rapid. În notațiile convenționale, ecuația reacției este următoarea:

$$^{7}_{3}\mathrm{Li} + ^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow 2 \cdot ^{4}_{2}\mathrm{He} + 17{,}25\ \mathrm{MeV};$$

litiu + proton → 2 particule α + energie nucleară.

Reacția considerată mai sus este o reacție care pune în libertate energie nucleară, adică o reacție exotermă. Pentru aflarea acestei energii calculăm mai întîi defectul de masă. Masele atomice ale corpurilor care intră în reacție, prin însumare, dau 8,02634 amu, iar masa celor două particule α, rezultate din reacție, este 8,00780 amu. Apare deci un defect de masă de 0,01854 amu.

Energia corespunzătoare acestei variații de masă este: $E = 0{,}01854\ \text{amu} \times 931\ \text{MeV/amu} = 17{,}25\ \text{MeV}$.

Obținerea energiei nucleare pe această cale, cu particule accelerate artificial, nu prezintă importanță din punct de vedere practic, din următoarele cauze:

a) Ținînd seama de diametrul foarte mic al nucleului și de faptul că distanțele dintre nuclee sînt de 10^4 ori mai mari decît diametrul nucleului, probabilitatea ca o parti-

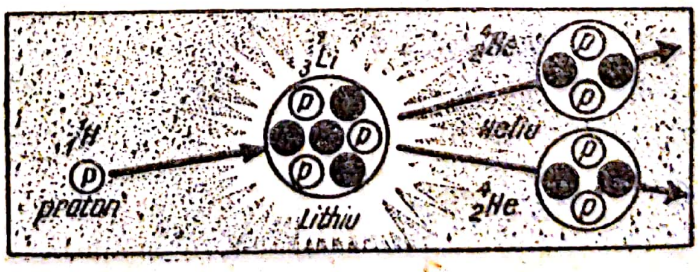


Fig. 134. Reacția de dezintegrare a litiului.

culă rapidă să ciocnească un nucleu este de 1 la 10 milioane. Aceasta înseamnă că din 10 milioane de protoni rapizi, care bombardează nucleul de litiu, unul îl va nimeri.

b) A doua cauză este energia mare pe care trebuie s-o aibă aceste particule pentru a putea pătrunde în nucleu. Această energie se poate obține cu ajutorul acceleratorilor de particule, care, după cum s-a văzut, pot imprima particulelor energii de ordinul a 10 000 MeV. Dar imprimarea unei asemenea energii cere, la rîndul ei, cheltuirea unei energii și mai mari, astfel că, din punct de vedere practic, metoda aceasta nu este avantajoasă. De aceea, degajarea energiei nucleare nu se face cu ajutorul acceleratorilor (care se utilizează numai în cercetări științifice), ci prin alt mijloc care va fi descris în paragraful următor.

128. **Fisiunea nucleară.** Cercetările întreprinse de fizicieni cu privire la provocarea reacțiilor nucleare a diferitelor substanțe, prin bombardarea lor cu neutroni, au dus la o descoperire de importanță excepțională pentru posibilitatea eliberării energiei nucleare. S-a descoperit că nucleele elementelor grele, cum ar fi ^{235}U, bombardate cu neutroni se descompun în două părți de mase aproximativ egale, cu eliberarea a 1—3 neutroni (care pot fi folosiți pentru bombardarea altor nuclee). Aceste fracțiuni ale nucleului bombardat se transformă apoi în nuclee ale diferitelor elemente de masă atomică mijlocie. Așa, de exemplu, în unele experiențe, nucleul de uraniu genera un nucleu de bariu ($^{145}_{56}Ba$) și un nucleu de kripton ($^{88}_{36}Kr.$) Alte ori s-au descoperit și alte produse de dezintegrare, ca: bromul, iodul, stronțiul, rubidiul.

Acest fenomen de „rupere" în două a nucleelor elementelor grele a căpătat denumirea de *fisiune nucleară* și a fost descoperit, în anii 1938—1939, de către un grup de fizicieni: soții Joliot-Curie; Savitch, O. Hann, F. Strassmann, L. Meitner. Mai corect, fisiunea nucleară poate fi definită ca procesul de dezintegrare a unui nucleu atomic greu, declanșat prin absorbția unui neutron, în două fragmente de mase puțin diferite, ale căror numere atomice însumate dau numărul atomic al nucleului inițial. Descoperirea fisiunii nucleare a marcat o cotitură în cercetările cu privire la energia nucleară, deoarece cu acest prilej s-a degajat, în mod practic, o cantitate enormă de energie,

$^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n = {}^{131}_{56}Ba + {}^{86}_{36}Kr + 11\,{}^{1}_{0}n$

ceea ce pînă atunci se prevăzuse în mod teoretic. Prin fisiunea uraniului, de exemplu, se eliberează pentru fiecare atom dezintegrat circa 200 MeV. Această degajare de energie se explică prin faptul că nucleele formate prin fisiunea uraniului sînt nuclee ale unor elemente situate spre mijlocul tabelului lui Mendeleev. Aceste nuclee sînt mai stabile și le corespunde o energie de legătură, pe nucleon, mai mare decît la uraniu. Diferența de energie reprezintă tocmai energia degajată.

Fisiunea uraniului a deschis calea spre eliberarea energiei nucleare, deoarece s-a constatat că neutronii puși în libertate prin fisiunea nucleului, la rîndul lor, pot provoca și ei fisiunea altor nuclee de uraniu nefisionate. De remarcat că uraniul fisionează și spontan.

129. **Reacția nucleară în lanț.** În paragraful precedent s-a spus că, în urma fisiunii nucleare a uraniului, apar neutroni care pot fi folosiți pentru a produce fisiunea altor nuclee. Numărul acestor neutroni este cuprins între 1 și 3 pentru fiecare neutron care lovește un nucleu. Se pune acum întrebarea: de ce prin fisiunea unui nucleu greu, cum este nucleul de uraniu, sînt puși în libertate neutroni? Răspunsul la această întrebare îl putem da dacă ne gîndim la numărul de neutroni care se găsesc în nucleul unui atom oarecare. Știm că numărul neutronilor din nucleu este egal cu diferența dintre numărul de masă atomică și numărul atomic al elementului respectiv. Hidrogenul ușor, de exemplu, are un singur proton și nici un neutron; heliul are 2 protoni și 2 neutroni; litiul are 3 protoni și 4 neutroni; apoi, pe măsură ce numărul atomic crește, crește și numărul de neutroni, nu însă într-o proporție stabilă, cu numărul de protoni. Astfel, izotopul 16 al oxigenului are în nucleu 8 protoni și 8 neutroni, sulful are 16 neutroni și 16 protoni; fierul are 26 protoni și 30 neutroni, iar izotopul 238 al uraniului are 92 protoni și 146 neutroni. Datorită numărului mare de neutroni din nucleele elementelor grele, atunci cînd un nucleu greu, cum este uraniul, se dezintegrează în două nuclee mijlocii, va apărea, peste numărul normal de neutroni, care vor intra în cimentarea fiecărui nucleu nou, un surplus de neutroni. Aceștia se numesc neutroni suplimentari. O parte dintre acești neutroni sînt proiectați ca neutroni secundari liberi, ceilalți putînd suferi diferite transformări. Neutronii secundari liberi, al

Scanned with OKEN Scanner

căror număr poate fi cuprins între 1 şi 3, în condiţii optime, pot pătrunde în tot atîtea nuclee grele producînd fisiunea lor. Să presupunem, de exemplu, că un neutron produce fisiunea unui nucleu de uraniu care eliberează 3 neutroni secundari. Aceşti neutroni lovesc 3 nuclee de uraniu şi le sparg, eliberînd din fiecare nucleu cîte 3 neutroni secundari, în total 9 neutroni. Presupunem că cei 9 neutroni vor produce fisiunea altor 9 nuclee de uraniu, care vor elibera cîte 3 neutroni secundari, adică în total se vor elibera

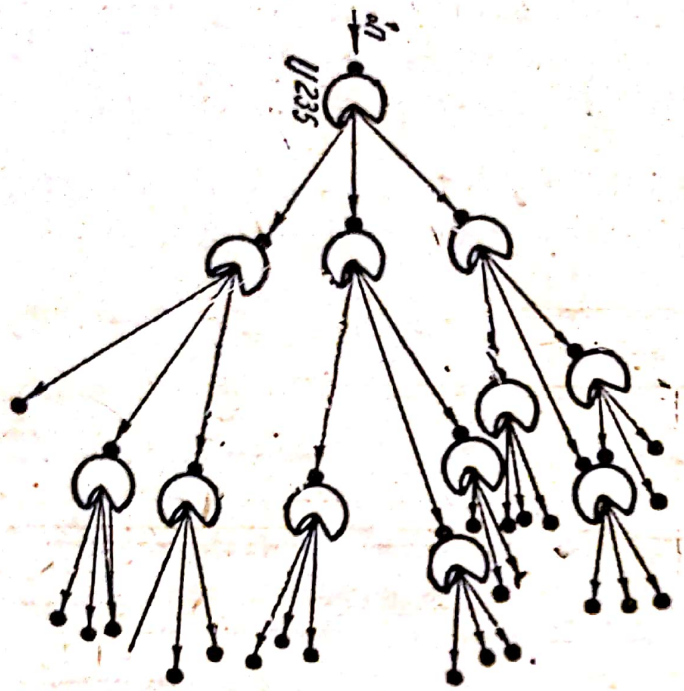


Fig. 135. Reacţia în lanţ a uraniului 235.

27 neutroni ş.a.m.d. (fig. 135). Aşadar se va produce o cantitate de nuclee fisionate, care se va tripla mereu (considerînd că neutronul care a provocat o fisiune nu mai provoacă o nouă fisiune), şi o cantitate de neutroni secundari, care de asemenea se va tripla încontinuu. Totodată, fisiunea fiecărui nucleu eliberează şi o cantitate considerabilă de energie nucleară. Acest proces se fisiune a nucleelor de uraniu, care se autoîntreţine, se numeşte *reacţie în lanţ*. În cazul reacţiei în lanţ, procesul se accelerează mereu de la sine şi cantitatea de energie care se degajă este în continuă creştere. Aceasta înseamnă că toate fisiunile luate împreună pot elibera o cantitate enormă de energie într-un timp extrem de scurt.

Reacţia în lanţ este împiedicată însă, uneori, să se dezvolte, din anumite cauze legate de materialul fisionabil şi de condiţiile în care are loc reacţia. Dintre cei trei izotopi naturali ai uraniului (234, 235, 238) fisionează numai izotopul 235. Uraniul natural însă, care se extrage din pămînt, conţine numai 0,7% ^{235}U, o cantitate neînsemnată (0,005%) de ^{234}U, iar restul care alcătuieşte masa principală este ^{238}U. În mod obişnuit, izotopul 238 este nefisio-

nabil cu neutroni de energie mică, fisiunea lui putînd fi provocată numai de acei neutroni a căror energie depăşeşte 1 Me V. Deci, prima cauză care împiedică reacţia în lanţ este existenţa unei cantităţi insuficiente de ^{235}U în minereul de uraniu. Pentru înlăturarea acestei cauze se procedează la îmbogăţirea minereului de uraniu în ^{235}U. A doua cauză care împiedică reacţia în lanţ constă în următoarele: se ştie că în urma reacţiei de fisiune a nucleului de uraniu 235 iau naştere neutroni suplimentari, care ar putea provoca fisiunea unor nuclee vecine, producînd reacţia în lanţ, pînă la consumarea completă a uraniului. Aceşti neutroni, produşi prin fisiune, sînt însă foarte rapizi, ceea ce face să se micşoreze probabilitatea ca ei să lovească un nucleu. Se poate întîmpla ca un mare număr de neutroni să iasă din bucata de uraniu fără a fi provocat vreo fisiune. În acest caz, reacţia în lanţ nu mai apare. Pentru a împiedica ieşirea acestor neutroni din bucata de uraniu trebuie ca aceasta să aibă dimensiuni suficient de mari. De la un anumit volum în sus, numit volum critic, posibilitatea ieşirii neutronilor este minimă. Dintre neutronii care iau naştere în urma unei fisiuni nucleare, cel mai uşor de captat sînt neutronii lenţi (care au viteză mică şi energie de circa 0,025 eV). Aceşti neutroni provoacă cu uşurinţă fisiunea nucleelor. Înseamnă că pentru a face ca toţi neutronii să participe la producerea fisiunii este necesar să se dispună de bucăţi de uraniu suficient de mari, sau să se găsească anumite mijloace de a micşora vitezele neutronilor rapizi, transformîndu-i în neutroni lenţi. În fine, a treia cauză care poate împiedica desfăşurarea reacţiei în lanţ o constituie impurităţile uraniului, care pot absorbi neutronii secundari. Pentru a înlătura această cauză este necesară o purificare chimică foarte îngrijită a uraniului.

130. **Reactorul nuclear.** Reactorul nuclear este dispozitivul cu ajutorul căruia se poate realiza o reacţie nucleară în lanţ controlată. Există reactor care funcţionează cu neutroni lenţi şi reactori care pot funcţiona cu neutroni rapizi. În cele ce urmează se va vorbi despre reactorul cu neutroni lenţi.

Principiul de funcţionare a reactorului cu neutroni lenţi este următorul: uraniul nu se găseşte sub forma unui bloc compact omogen, ci este amestecat cu grafit sau

apă grea (D_2O), substanțe ce servesc la încetinirea neutronilor („moderatori"). Neutronii, izbindu-se de nucleele substanței moderatoare, le cedează cea mai mare parte din energia lor cinetică, devenind neutroni lenți, care sînt captați cu ușurință de nucleele de ^{235}U, producînd fisiunea lor. Bineînțeles că și în cazul reactorului trebuie respectate anumite dimensiuni critice. Dacă

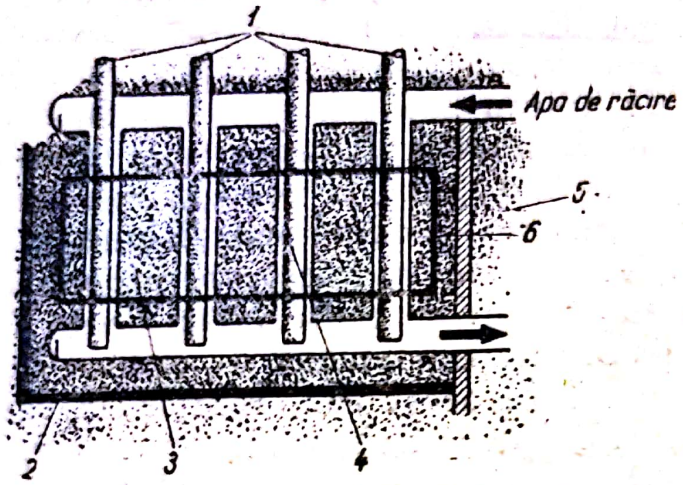


Fig. 136. Reactorul nuclear (schemă de principiu):
1 — bare de uraniu; *2* — înveliș de oțel; *3* — grafit; *4* — uraniu; *5* — beton; *6* — limita zonei active.

reactorul este prea mic și conține prea puțin ^{235}U, reacția în lanț nu se poate declanșa.

Am văzut mai sus principiul de funcționare a reactorului; să studiem acum mai îndeaproape părțile lui componente și funcțiunile lor. Există diferite tipuri de reactori. Figura 136 reprezintă un tip de reactor cu neutroni lenți. După cum se vede în figură, părțile componente ale reactorului sînt:

a) materialul fisionabil — uraniul (îmbogățit);

b) substanța încetinitoare (moderatorul) — grafitul (la alte reactoare, apa grea);

c) transportorul de căldură — apa; sau metale în stare lichidă;

d) protecția biologică;

e) dispozitivul de telecomandă (care nu este prezentat în figură).

Uraniul se află sub formă de bare lungi de cîțiva metri. El nu ocupă toată lungimea barei, ci se găsește în partea de jos a ei, ocupînd o anumită porțiune. În reactor începe un anumit număr de bare, corespunzător unei anumite cantități bine stabilite de uraniu îmbogățit. Regiunea centrală a reactorului, unde se găsește uraniul și unde are loc reacția

Scanned with OKEN Scanner

în lanț, se numește *zonă activă*. Barele de uraniu sînt introduse în substanța moderatoare, de exemplu, grafit de o puritate deosebită. Neutronii care apar, ciocnindu-se de nucleele de carbon, își micșorează viteza și ciocnind alte nuclee de uraniu produc fisiunea lor. Energia se degajă sub formă de căldură și este așa de mare, încît reactorul s-ar topi. Pentru a împiedica aceasta, fiecare bară are un sistem de răcire cu apă, care este pusă în mișcare de niște pompe de tip special și circulă fără întrerupere, răcind reactorul. Presiunea la care circulă apa este de ordinul a 100 at, iar temperatura la care ajunge este de 270°C. O problemă foarte importantă pentru buna funcționare a reactorului este reglarea regimului de funcționare. Dacă în reactor este prea puțin uraniu sau dacă are loc o pierdere de neutroni, reacția în lanț nu se poate declanșa. Dacă, dimpotrivă, în reactor apar prea mulți neutroni, reacția poate deveni așa de violentă, încît să ducă la distrugerea reactorului. Este deci necesar să se prevadă un mijloc de reglare a numărului de neutroni. În acest scop se folosesc unele elemente, ca: bor sau cadmiu, care au proprietatea de a absorbi neutronii. În reactor se mai introduc niște bare de cadmiu sau de carbură de bor, la anumite adîncimi, pentru a regla cantitatea de neutroni. Cînd toate barele sînt introduse complet în reactor, reacția în lanț nu se poate declanșa; pe măsură ce aceste bare se scot afară, reacția începe și energia crește. În felul acesta există deci posibilitatea de a controla în orice moment funcționarea reactorului și la nevoie chiar de a o opri. În afara barelor de control se mai găsesc și bare de siguranță, care în mod normal sînt scoase din reactor. Ele se introduc numai în caz de avarie și au rolul de a asigura oprirea completă a reacției în lanț. În figura 137 este reprezentată reacția în lanț în reactor. La explozia nucleului de ^{235}U se elimină din acesta 3 neutroni. Acești neutroni, trecînd prin moderator, își micșorează viteza și ciocnind alte nuclee de ^{235}U, le sparg ș.a.m.d. Nucleele de $^{238}_{92}U$ care absorb neutroni lenți se transformă în $^{239}_{92}U$, radioactiv, cu perioada de înjumătățire 23 min. Acesta trece prin radioactivitate β în neptuniu ($^{239}_{93}N_p$). În sfîrșit, neptuniul se transformă printr-o nouă dezintegrare β: ($T_{\frac{1}{2}} = 2{,}3$ zile) în plutoniu ($^{239}_{94}Pu$) — element fisionabil (fig. 137). Neptuniul și plutoniul sînt elemente transuranice.

Pentru asigurarea securității personalului care deservește reactorul împotriva radiațiilor penetrante, reactorul este înconjurat cu o cămașă de oțel și un zid gros de beton, care constituie protecția biologică. Din cînd în cînd, barele de uraniu sînt scoase și prelucrate pentru separarea plutoniului produs. Toate operațiile de prelucrare se fac prin comandă de la distanță, iar personalul de deservire este protejat

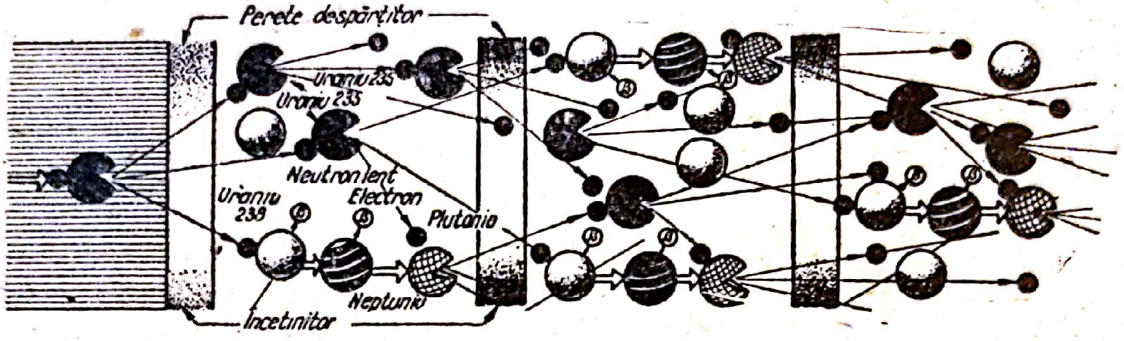


Fig. 137. Reacția în lanț în reactor.

împotriva radiațiilor prin costume speciale și ecrane groase. În prezent și la noi în țară funcționează (din 1957) un reactor nuclear de 2 000 kW, la I.F.A.

131. **Explozia nucleară.** Să presupunem că pentru producerea reacției în lanț se folosește o bucată compusă numai din material fisionabil (^{235}U sau ^{239}Pu), al cărei volum este mai mare decît volumul critic, și că toți neutronii liberi vor produce fisiunea nucleelor. Numărul nucleelor fisionate va crește rapid și tot așa și numărul neutronilor, astfel că într-un timp extrem de scurt se va consuma tot materialul fisionabil și energia se va degaja într-o puternică explozie. Dacă, de exemplu, se dezintegrează numai 1 atom-gram de ^{235}U, adică 235 g și ținînd seama că dezintegrarea unui nucleu se produce cu o degajare de energie de 200 MeV, atunci cele 235 g de ^{235}U vor da o energie de aproximativ $5{,}36 \cdot 10^6$ kWh. Dacă această energie s-ar degaja în 0,01 s, s-ar dezvolta o putere de $1{,}924 \cdot 10^{12}$ kW. O asemenea degajare de energie reprezintă o foarte puternică explozie. Temperatura substanței dezintegrate se ridică brusc la cîteva milioane de grade și, ca urmare, această ridicare bruscă a temperaturii provoacă o comprimare bruscă a aerului înconjurător, cu un mare efect de distrugere. Aceasta este o *explozie nucleară*. Energia care se degajă în momentul exploziei este emisă sub forme de: lumină orbitoare, căldură

Scanned with OKEN Scanner

foarte mare, presiune și radiații radioactive ale unor elemente radioactive artificiale. Datorită acestor elemente radioactive, ale căror radiații durează mult timp după explozia nucleară și care au acțiune distructivă asupra organismului, acțiunea de distrugere durează mult timp după explozie. Proiectilul prin care se obține o explozie nucleară poartă numele de bomba atomică.

132. **Fuziunea nucleară.** A doua cale de eliberare a energiei nucleare este *sinteza nucleului*, adică formarea nucleelor atomice din nucleoni. În urma unei astfel de reacții s-ar degaja energia de legătură, adică energia nucleară. Deoarece în condiții normale nu există protoni și neutroni liberi, reacția se poate realiza prin fuziunea unor nuclee ușoare, având ca rezultat formarea unor nuclee mai grele și degajarea unei cantități enorme de energie nucleară. În acest scop s-a constatat că un amestec, într-o anumită proporție, a doi izotopi ai hidrogenului: deuteriul ($_1^2D$) și tritiul ($_1^3T$) poate produce sinteza heliului. Pentru a se produce această reacție, numită *reacție de fuziune nucleară*, amestecul de deuteriu și tritiu trebuie adus la o temperatură de cîteva zeci sau sute de milioane de grade, numită *temperatură de aprindere*. Această temperatură enormă constituie una dintre cele mai mari dificultăți tehnice pentru producerea reacțiilor de fuziune nucleară controlate.

Sînt posibile diferite tipuri de reacții, care degajă diferite cantități de energie nucleară. Ca exemplificare, în cele ce urmează, sînt prezentate 4 reacții, indicîndu-se și cantitatea de energie degajată.

a) Reacția de fuziune a două nuclee de deuteriu cu formarea unui nucleu al unui izotop artificial al heliului — $_2^3He$:

$$_1^2D + {}_1^2D = {}_2^3He + {}_0^1n + 3{,}25 \text{ MeV}.$$

b) Reacția de fuziune a două nuclee de deuteriu, cu formarea unui nucleu de tritiu: $_1^2D + {}_1^2D = {}_1^3T + {}_1^1p + 4$ MeV.

c) Reacția de fuziune a unui nucleu de deuteriu cu un nucleu de tritiu: $_1^2D + {}_1^3T = {}_2^4He + {}_0^1n + 18{,}7$ MeV.

d) Reacția de fuziune a unui nucleu de deuteriu cu un nucleu de ^3_2He, cu formarea nucleului de ^4_2He:

$$^2_1D + ^3_2He = ^4_2He + ^1_1p + 18{,}23 \text{ MeV}.$$

Datorită temperaturilor foarte înalte la care au loc aceste reacții, ele se numesc *reacții termonucleare*. În natură, astfel de reacții au loc în Soare și stele: pe baza lor se degajă energia pe care aceste corpuri cerești o radiază în spațiu. În stadiul actual al fizicii nucleare, pe pămînt, eliberarea energiei nucleare cu ajutorul reacțiilor de fuziune nucleară poate avea loc sub forma unei explozii puternice, deoarece pentru realizarea temperaturii necesare fuziunii se folosește explozia nucleară de fisiune. În scopuri industriale însă, importantă este eliberarea controlată a acestei energii fără a fi necesare materiale fisionabile pentru realizarea reacției. Un deosebit succes în această direcție s-a obținut prin realizarea primei reacții termonucleare controlate, cu ajutorul unor instalații mari, ca, spre exemplu, Ogra. În aceste instalații se folosește *plasma*, a patra stare de agregare a materiei. Plasma este un gaz aflat la un grad foarte înalt de ionizare, mergînd pînă la ionizarea completă a particulelor sale; în această situație, gazul este compus din nuclee pozitive și electroni. Plasma poate fi întîlnită sub diverse forme: de la gazele luminescente din tuburile de descărcări în gaze și pînă la flacăra arzătoarelor cu plasmă (folosite în sudura modernă), sau de la arcul electric la reacțiile termonucleare și se bucură de proprietăți pe care nu le au gazele obișnuite. Datorită acestor proprietăți a căpătat o serie de utilizări. De foarte mare importanță poate fi însă utilizarea plasmei în realizarea reacțiilor termonucleare controlate. Vom descrie principiul de funcționare al unui astfel de dispozitiv. Deuteriul, de exemplu, este introdus într-un tub de descărcare de formă inelară (tor), la o presiune de ordinul 10^{-4} torr. Acest gaz este ionizat și constituie unica spiră a înfășurării secundare (fig. 138) a unui transformator, prin a cărui înfășurare primară trece un curent sub formă de impulsuri de foarte scurtă durată. Acest curent induce în gazul din tub curenți de aproximativ 200 000 A cu durata de 0,005 s, care dezvoltă o temperatură foarte înaltă, datorită căreia gazul se transformă în plasmă. Curenții induși dau naștere la un cîmp magnetic ale cărui linii de forță înconjură, ca niște inele con-

centrice (v. figura) plasma și o comprimă sub forma unui inel subțire, izolat de peretele tubului. Ca urmare, temperatura crește rapid la cîteva milioane de grade, dar pentru un timp foarte scurt. Tubul de descărcare mai este înconjurat de niște bobine care creează un cîmp magnetic avînd liniile de forță orientate de-a lungul tubului. Acest cîmp face ca firul de plasmă să nu se destrame și plasma să nu atingă pereții tubului. Pe acest principiu

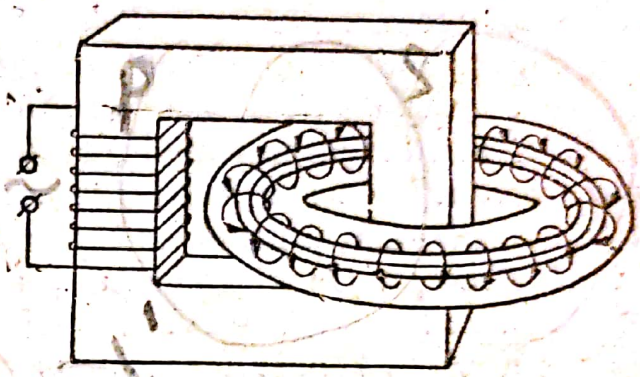


Fig. 138. Schema de principiu a instalației pentru producerea de reacții termonucleare controlate.

poate funcționa un reactor termonuclear, care este superior unui reactor de fisiune, datorită faptului că nu produce deșeuri radioactive, ceea ce reprezintă un mare avantaj și totodată va face posibilă transformarea energiei nucleare direct în energie electrică.

În momentul actual, plasma se folosește și în metalurgie, la arzătoarele și la cuptoarele cu plasmă. Să vedem cum funcționează un arzător sau un cuptor cu plasmă. Am spus mai înainte că arcul electric este o plasmă de descărcare în gaz, dar în arcul liber temperaturile sînt destul de coborîte (3 000—5 000°C), datorită libertății relative a aerului încălzit de a se risipi lateral. Dacă se strangulează însă curentul din arc, cu ajutorul unui ajutaj, astfel încît să se mențină la o secțiune îngustă, densitatea curentului electric, cît și temperatura plasmei pot atinge valori foarte mari. Se obține astfel un arzător cu plasmă (v. fig. 139). În acest arzător, plasma se formează cu ajutorul unui debit de gaz sub presiune, care separă coloana arcului de pereții ajutajului metalic. Arcul încălzește

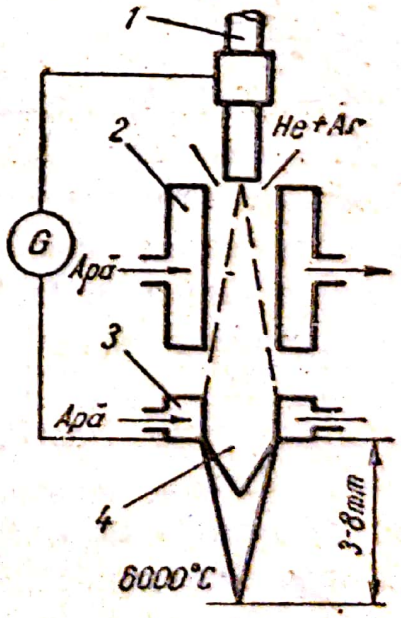


Fig. 139. Arzător cu plasmă.

gazul la temperaturi mult mai mari celor obținute în arcul electric liber. Datorită strangulării arcului, fiecare moleculă a gazului este supusă unui număr mai mare de ciocniri cu electronii de energie înaltă decît în arcul normal. Căldura ce se degajă este folosită în metalurgie la sudarea și tăierea metalelor, precum și la forajele geologice în roci foarte dure. De asemenea se mai folosește la acoperirea cu metale greu fuzibile și la încălzirea cuptoarelor pentru topirea metalelor. Într-un astfel de cuptor, arcul de plasmă se produce într-o cameră de ardere situată la partea superioară a cuptorului și alimentată cu gaz (argon, azot sau hidrogen) sub presiune. Ca și la arzătorul cu plasmă, plasma se formează la trecerea gazului prin arcul electric. Cuptoarele cu plasmă sînt utilizate pentru obținerea metalelor pure. Datorită temperaturii foarte ridicate (30 000°C) producția unui cuptor cu plasmă este cu mult mai mare decît a cuptorului electric obișnuit, folosit în oțelării. Se apreciază că, pentru aceeași capacitate a instalațiilor de topire, o oțelărie dotată cu cuptoare cu plasmă va avea o capacitate de producție de patru ori mai mare. Se consideră că, într-un timp foarte scurt, cuptoarele cu plasmă vor concura puternic cuptoarele electrice obișnuite. În prezent sînt în curs de realizare cuptoare cu plasmă pentru topirea oțelului, cu o capacitate de pînă la 100 t, folosind mai multe jeturi de plasmă. Astfel de cuptoare vor fi folosite pentru producerea oțelurilor aliate, care se bucură de proprietăți mecanice superioare. De asemenea, cuptoarele cu plasmă vor fi folosite pentru topirea rapidă a metalelor greu fuzibile.

133. **Folosirea energiei nucleare în scopuri pașnice.** Folosirea energiei nucleare ca sursă de forță motrice, obținută cu ajutorul reactorului de fisiune, necesită măsuri deosebit de complexe și costisitoare pentru protecția personalului de deservire a centralelor energetice atomice. Astfel, reactorul unde se produce energia nucleară de fisiune trebuie înconjurat cu un blindaj gros de beton, ceea ce limitează mobilitatea unei astfel de instalații. Totodată, o problemă foarte dificilă o constituie evacuarea zgurii radioactive. Totuși, astfel de centrale energetice prezintă și avantaje incomparabil mai mari față de celelalte centrale. Spre de-

Scanned with OKEN Scanner

osebire de centralele termice, care consumă sute de mii de tone de cărbune sau păcură pe an, unei centrale atomice îi sînt suficiente cîteva zeci sau sute de kg de material nuclear. În același timp, o centrală atomică poate rezolva și problema încălzirii și alimentării cu apă caldă a orașelor și chiar a unor regiuni întregi. În instalațiile actuale, energia nucleară dată de reactori sub formă de căldură este transformată mai întîi în energie mecanică și apoi în energie electrică.

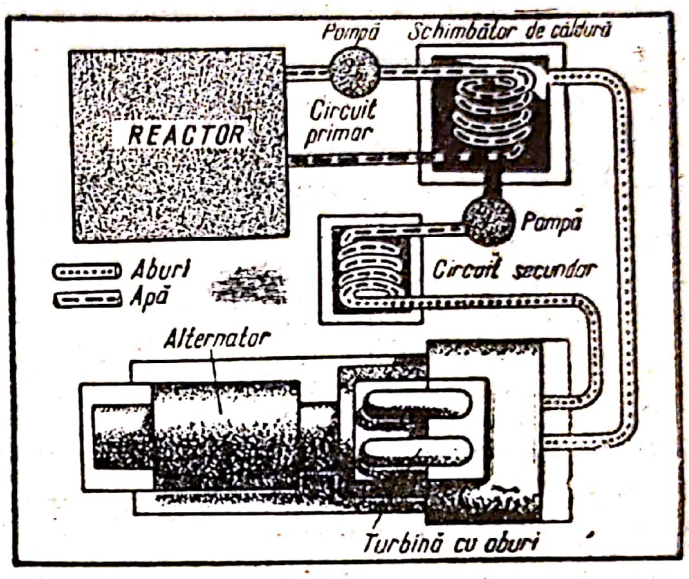


Fig. 140. Schema unei centrale atomoelectrice.

În figura 140 se vede schema completă a unei centrale atomoelectrice. Inima unei astfel de centrale este reactorul nuclear. Reactorul înfățișat în figură este răcit cu apă. Se mai pot folosi ca agenți de răcire CO_2, metale topite etc. Cu toate dificultățile actuale, costul unui kWh produs de o centrală atomoelectrică diferă foarte puțin de costul unui kWh produs de o centrală cu cărbune, așa că în curînd utilizarea energiei nucleare va fi mai rentabilă decît arderea cărbunelui sau a păcurii. De asemenea, pe viitor se pune problema transformării energiei nucleare direct în energie electrică. Un mare avantaj al centralei atomice este că pentru funcționare nu are nevoie de oxigen, ceea ce permite ca ea să poată fi amplasată oriunde: în adîncul pămîntului sau în spațiul vid.

Procesul de transformare a energiei nucleare în forță motrice poate fi folosit pentru acționarea navelor oceanice care funcționează pe baza căldurii furnizată de procesele nucleare din reactor. Căldura este utilizată pentru a produce vapori care acționează niște turbine, iar acestea, la rîndul lor, pun în funcțiune trei motoare electrice care mișcă elicele.

Folosirea energiei nucleare în scopuri pașnice deschide perspective de nebănuit în fața omului. Prin folosirea hidro-

genului în locul uraniului, pentru producerea energiei nucleare, s-a găsit un combustibil mult mai ieftin și cu o durată de ordinul miliardelor de ani. Totul este ca această energie să fie folosită nu în scopuri de distrugere, ci spre binele omenirii.

ÎNTREBĂRI RECAPITULATIVE

1. În ce constă emisiunea termoelectronică?
2. Prin ce se deosebește modelul atomic al lui Bohr de modelul atomic al lui Rutherford?
3. Cum se definește radioactivitatea naturală?
4. Ce proprietăți au radiațiile α, β și γ?
5. Cum se enunță legile radioactivității naturale?
6. Ce exprimă durata de înjumătățire?
7. Ce se înțelege prin radioactivitatea artificială și ce importanță are?
8. Ce aplicații ale izotopilor radioactivi cunoașteți?
9. Ce sînt atomii marcați și ce aplicație au?
10. Ce este defectul de masă și cui i se datorește?
11. În ce constă fenomenul de fisiune nucleară?
12. În ce constă reacția în lanț?
13. Ce cauze pot împiedica reacția în lanț?
14. Ce este reactorul nuclear și la ce folosește?
15. În ce constă explozia nucleară și care sînt efectele ei?
16. Ce se înțelege prin fuziune nucleară?
17. Cum se definește plasma?
18. Ce aplicații pașnice poate avea energia nucleară?

PROBLEME

1. Se știe că durata de înjumătățire a izotopului radioactiv ^{93}Sr este de 20 ani. Se cere să se calculeze ce fracțiune din numărul inițial de nuclee rămîne nedezintegrată după 10 ani.

R. $0{,}708\ N_0$.

2. Să se găsească relațiile dintre unitatea de energie „electronvolt" (eV), erg și joule.

R. $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J, $1{,}6 \cdot 10^{-12}$ erg.

3. În urma unei reacții nucleare s-au degajat 10^6 cal. Să se calculeze variația masei particulelor care au intrat în reacție.

R. $0{,}46 \cdot 10^{-7}$ g.

4. Să se calculeze cu cît se mărește masa a 1 kg apă care este încălzită de lumina solară de la 10°C pînă la fierbere.

R. $4{,}18 \cdot 10^{-12}$ kg.

Scanned with OKEN Scanner

CUPRINSUL

I. OSCILAȚII ȘI UNDE

Pag.

MIȘCAREA OSCILATORIE

1. Oscilația unui resort. Definiția mișcării oscilatorii. 3
2. Mărimi caracteristice ale mișcării oscilatorii periodice. 5
3. Mișcarea oscilatorie armonică. 9
4. Oscilații amortizate. 13
5. Pendulul matematic. 14
6. Legile pendulului. 17
7. Pendulul compus. 19
8. Aplicațiile pendulului. 20

Lucrarea de laborator nr. 1 21

Întrebări recapitulative 22

Probleme 23

UNDE ELASTICE

9. Propagarea oscilațiilor într-un mediu elastic. 23
10. Unde transversale. 25
11. Unde longitudinale. 25
12. Lungimea de undă. 25
13. Suprafața de undă. Raza. 26
14. Principiul lui Huygens. 27
15. Difracția undelor. 29
16. Reflexia undelor. 31
17. Interferența undelor. 33
18. Undele staționare. 35
19. Rezonanța. 37

Întrebări recapitulative 40

Pag.

ACUSTICA

Noțiuni generale

20. Producerea și propagarea sunetului. 40
21. Viteza sunetului. 42
22. Clasificarea sunetelor. 43

Calitățile sunetului

23. Înălțimea sunetului. 44
24. Intensitatea sunetului. 44
25. Reflexia sunetului. Ecoul. 45
26. Interferența undelor sonore 46
27. Unde staționare 48
28. Sunetul fundamental. Armonice. 51
29. Timbrul. 52

Rezonanța

30. Rezonanța sonoră. Rezonatori. 53

Lucrarea de laborator nr. 2 55

Înregistrarea și reproducerea sunetelor

31. Magnetofonul. 56

Ultrasunetele

32. Proprietățile ultrasunetelor. 60

Întrebări recapitulative 64

Probleme 64

II. OSCILAȚII ȘI UNDE ELECTROMAGNETICE

OSCILAȚII ELECTRICE

33. Descărcarea oscilatorie a unui condensator. 66
34. Circuitul oscilant și explicarea electronică a descărcării condensatorului. 67
35. Oscilații amortizate și neamortizate. Perioada de oscilație 68
36. Rezonanța electrică. 69

Pag.

37. Circuitul oscilant deschis. 70
38. Cîmpul electromagnetic. 71

UNDE ELECTROMAGNETICE

39. Propagarea undelor electromagnetice. 72
40. Antena. 73
41. Proprietăţile undelor electromagnetice. 74

TUBURI ELECTRONICE

42. Dioda, Construcţie, funcţionare 76
33. Trioda. Construcţie. 79
44. Caracteristicile triodei. 80
45. Trioda ca generator de oscilaţii electromagnetice întreţinute. 83
46. Trioda ca amplificator. 85
47. Trioda ca detector (redresor). 87
Lucrarea de laborator nr. 3 89

NOŢIUNI GENERALE DE RADIOCOMUNICAŢIE

48. Radioemisiunea şi radiorecepţia 89
49. Noţiuni despre tranzistoare. 93

Radiolocaţia

50. Noţiuni de radiolocaţie. 96

Radiotehnica

51. Importanţa radiotehnicii. 100
Întrebări recapitulative. 104
Probleme. 104

III. OPTICA

A. OPTICA GEOMETRICĂ

Noţiuni introductive

52. Viteza de propagare a luminii şi determinarea ei. 106
Probleme. 107

Reflexia şi refracţia luminii

53. Reflexia luminii şi legile ei. 108
54. Difuzia luminii. 109
55. Oglinzi plane. 109
56. Oglinzi sferice. 111
57. Formarea imaginilor în oglinzile sferice. 112
58. Aplicaţii ale oglinzilor sferice. 115
Întrebări recapitulative 116
59. Refracţia luminii. 116
60. Reflexia totală. 120
61. Refracţia atmosferică. 121
62. Mirajul. 122
63. Refracţia printr-o lamă cu feţe plan-paralele. 122
Lucrarea de laborator nr. 4 125
64. Refracţia prin prisma optică. 126
65. Dispersia luminii 127

Lentile

66. Noţiuni generale despre lentile. 128
67. Formarea imaginilor în lentile. 131
68. Formula lentilelor. 133
69. Convergenţa lentilelor. Dioptria. 135
70. Distanţa focală în funcţie de indicele de refracţie al lentilei şi de razele de curbură ale feţelor. 136
71. Grosismentul lentilei. Mărirea liniară 136
72. Aberaţiile lentilelor. 136
73. Corectarea aberaţiilor. Compunerea len-

Scanned with OKEN Scanner

Pag.

tilelor. 138
Lucrarea de laborator nr. 5 140

Aparate optice

74. Ochiul ca aparat optic. 140
75. Unghiul vizual. 141
76. Defectele sistemului optic al ochiului. Ochelarii. 142

B. OPTICĂ FIZICĂ

Optica ondulatorie

83. Interferența luminii în lame subțiri. 156
84. Inelele lui Newton. 157
85. Explicarea interferenței. 157
86. Aplicații ale interferenței. 161
87. Difracția luminii. 161
88. Rețele optice. Determinarea lungimii de undă cu ajutorul rețelei. 162
89. Interferența și difracția ca dovezi ce confirmă natura ondulatorie a luminii. 165
90. Teoria ondulatorie a luminii. 166

Spectroscopia

91. Obținerea spectrelor cu ajutorul prismei. Spectrul vizibil. 167
92. Spectre de emisiune. 168
93. Spectre de absorbție. 170
94. Transparența și culoarea corpurilor. 171
95. Analiza spectrală. Spectroscopul. 171
Lucrarea de laborator nr. 6 173
96. Spectrul invizibil. 174
97. Aplicații tehnico-industriale ale radiațiilor invizibile. 175

Pag.

77. Aparatul de proiecție. Epidiascopul 143
78. Aparatul fotografic. 146
79. Lupa. 148
80. Microscopul. 148
81. Luneta. 150
82. Binoclul cu prisme. 152
Întrebări recapitulative 153
Probleme 153

Radiațiile X

98. Obținerea radiațiilor X. 177
99. Proprietățile și natura radiațiilor X. Aplicații. 178
100. Privire generală asupra undelor electromagnetice. 180
101. Transformarea energiei radiațiilor în alte forme de energie. 181
Întrebări recapitulative. 183
Probleme. 183

Optica fotonică

102. Efectul fotoelectric. 184
103. Explicarea fotonică a legilor efectului fotoelectric. 186
104. Celula fotoelectrică. 188
105. Releul fotoelectric. 189
106. Televiziunea. 190
107. Cinematograful sonor. 195
108. Presiunea luminii. Relația reciprocă dintre masă și energie. 197
109. Lumina ca fenomen ondulatoriu și corpuscular. 199
Întrebări recapitulative 200
Probleme 200

Scanned with OKEN Scanner

IV. STRUCTURA ATOMULUI

pag.

ELECTRONII

110. Emisiunea electronică: termoelectronii și fotoelectronii. 202
111. Masa electronului și variația ei cu viteza. 204

Învelișul electronic

112. Modelele atomice. 205
113. Nivelurile de energie ale atomului. Emisiunea și absorbția de energie de către atom. 208
114. Serii spectrale. 209

Radioactivitatea. Structura nucleului.

115. Radioactivitatea naturală. Radiațiile α,β,γ. 211
116. Metode de cercetare în fizica nucleară. 213
117. Transformările elementelor radioactive. Legea dezintegrării radioactive. 215
118. Serii radioactive. 217
119. Izotopii. 217
120. Structura nucleului atomic. 219
121. Mijloace de acțiune asupra nucleului. Acceleratori de particule. 220
122. Radioactivitatea (dezintegrarea) artificială 223
123. Izotopi radioactivi 225
124. Atomii marcați 226

Energia nucleară

125. Energia nucleului atomic. 228
126. Defectul de masă. 229
127. Eliberarea energiei nucleare. 230
128. Fisiunea nucleară. 232
129. Reacția nucleară în lanț. 233
130. Reactorul nuclear. 235
131. Explozia nucleară. 238
132. Fuziunea nucleară. 239
133. Folosirea energiei nucleare în scopuri pașnice. 242

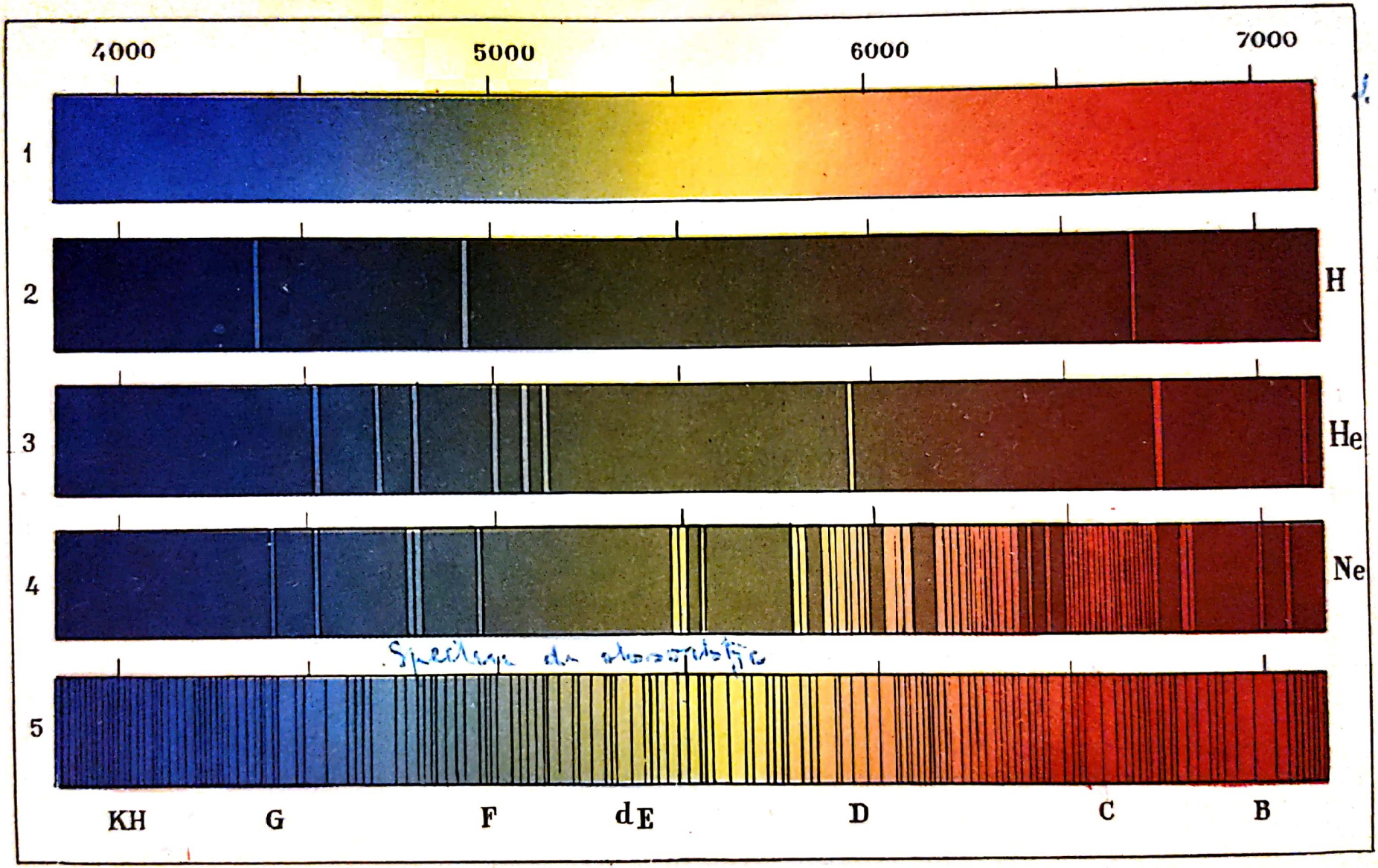
Întrebări recapitulative 244
Probleme. 244

Redactor responsabil : CONSTANTINIDE LIDIA
Tehnoredactor : GRUIA IANCU

Dat la cules 23.03.1964. Bun de tipar 25.05.1964. Apărut 1964. Tiraj 58 000+125. Hîrtie scris tip II A 63 g/m². Ft. 16/54×84. Coli editoriale 13,503, Coli de tipar 15,5. Planșe 1. A. 3912. C.Z. pentru bibliotecile mari 535(075.3). C.Z. pentru bibliotecile mici 53.

Tiparul executat sub comanda nr. 40 227 la Combinatul Poligrafic „Casa Scînteii", Piața Scînteii nr. 1, București — R P R.

Scanned with OKEN Scanner


4000
5000
6000
7000
1
2
H
3
He
4
Ne
5
KH
G
F
dE
D
C
B